

동해 울릉분지 남동해역의 탄성과 퇴적층서  
및 지질구조에 관한 연구

A Study of the Seismic Stratigraphy and  
Geological Structure of Southeastern part  
of the Ulleung Basin, East Sea

1994. 3

한국해양연구소  
해양지구물리연구그룹

# 제 출 문

한국해양연구소 소장 귀하

본 보고서를 “동해 울릉분지 남동해역의 탄성과 퇴적층서 및 지질구조에 관한 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

1994년 3월

연구책임자: 최 동 림

연구조원: 장 남 도

# 요 약 문

## I. 제목

동해 울릉분지 남동해역의 탄성과 퇴적층서 및 지질구조에 관한 연구

## II. 연구내용 및 결과

신생대 퇴적층의 지질구조 및 퇴적환경을 밝히고자 연구해역인 울릉분지 남동해역에서 획득한 단채널 에어컨 탄성과 단면자료를 정밀분석하였다. 탄성과 단면도상에서 4개의 탄성과 층서 즉, Unit MM, ML, P, 그리고 Q 층서를 구분하였다. 각 Unit의 연대는 Unit MM - 중기 마이오세 및 고기 퇴적층, Unit ML - 후기 마이오세, Unit P - 플라이오세, 그리고 Unit Q - 제4기로 설정하였다. 탄성과 층서 구분과 연대설정은 연구 해역 및 주변에서의 발표된 다채널 탄성과 단면도 층서, 석유 시추공, 그리고 해저 퇴적물에 대한 지질정보를 상호대비하여 결정하였다.

중기 마이오세 이하(Unit MM)은 매우 강한 지층변형을 받아 역단층 및 습곡구조가 다수 발달해 있다. 단층구조선과 습곡축의 발달방향은 동북동-서남서 및 동-서 방향이 우세하며, 대체로 북북서-남남동 및 남-북 방향으로의 강한 횡압력에 의한 결과로 해석된다. 반면 후기 마이오세 이후 제4기 지층은 거의 변형이 없으나 동-서 방향성의 단층구조선이 우세하며, 남-북 방향의 지체구조운동의 결과로 추측된다.

강한 지층변형을 받은 중기 마이오세 이하(Unit MM)과 뚜렷한 경사 부정합 경계를 이루며 후기 마이오세(Unit ML) 이후 퇴적층이 온각되어 분포한다. 후기 마이오세 이후 퇴적층은 대체로 남쪽의 대륙붕지역에서 북쪽의 울릉분지 심해를 향해 서서히 두꺼워지는 양상을 보인다. 특히 심해분지로의 퇴적물은 공급은 대

특사면을 따라 활발한 질량류 퇴적작용에 의한 것으로 판단된다.

중기 마이오세 이하 퇴적층의 강한 지층변형은 중기 마이오세 말이나 후기 마이오세 초 동안에 서남 일본지괴가 시계방향의 회전운동을 하면서 연구해역을 포함하는 쓰시마 해협내 퇴적층에 대해서 북서-남동 방향의 압축 지체구조운동의 결과로 해석된다. 이때 쓰시마 단층대는 좌수의 transpressional strike-slip 운동을 하였을 것으로 추측한다. 중기 마이오세 이후의 지체구조운동은 미약하게 남-북 방향의 압축력을 받았으며, 쓰시마 단층대는 제4기 까지도 활동적인 횡압력 구조대로 판단된다.

## SUMMARY

### I. Title

A Study on the Seismic Stratigraphy and Geological Structure of Southern part of the Ulleung Basin, East Sea.

### II. Abstract

The Cenozoic geological structures and sedimentary environments in the southeastern margin of the Ulleung Basin were studied in detail based on single-channel air-gun seismic profiles. Previous revealed multi-channel seismic data, wells, and bottom sampling in and around the study area were used to delineate the sequence analysis and to determine age of each Unit. The seismic sequences can be divided into 4 Units, namely, Unit MM, Unit ML, Unit P, and Unit Q in ascending order. The geologic information suggests that the age of Unit MM, Unit ML, Unit P, and Unit Q is middle Miocene or older, late Miocene, Pliocene, and Quaternary, respectively.

Middle Miocene or older sequence(Unit MM) were strongly deformed and uplifted with folding and faulting. Most of fold axes and fault strikes trend ENE-WSW and E-W due to NNW-SSE and N-S compression. However, E-W striking faults dominantly occur with slight deformation in late Miocene through Quaternary layer(Unit ML to Unit Q). It indicates that the tectonic force of N-S direction mainly influences during late Miocene through Quaternary layer.

Late Miocene through Quaternary sequences(Unit ML to Unit Q) rest

unconformably upon the erosional surface of strongly deformed older sequence(Unit MM). Depositional pattern of late Miocene through Quaternary sediments is gradually thickened from southern continental shelf area to northern slope area toward the Ulleung Basin. The supply of sediments to deep basin is believe to be active massflow processes along the continental slope.

During late middle Miocene or early late Miocene time, the clockwise rotation of SW Japan caused NW-SE compressional tectonics in the Tsushima Strait region, resulting in strong deformation of Unit MM(middl Miocene and older sediments) in the study area. At this time, the Tsushima fault acted as a left-lateral transpresstional strike-slip movement. The direction of tectonic regime changed to N-S after middle Miocene, leading to E-W trending fault dominantly in late Miocene to Quaternary layers. The Tsushima fault still appears to be an active compressional zone.

# 차 례

표 목차(List of Tables) .....	11
그림 목차(List of Figures) .....	13
제 1 장 서론 .....	19
제 1 절 연구자료 .....	21
제 2 절 해저지형 .....	21
제 2 장 일반 지질 .....	25
제 1 절 서남 일본의 육상지질 .....	25
제 2 절 울릉분지 남쪽 연변부의 해저지질 및 층서 .....	27
제 3 장 연구 방법 .....	33
제 1 절 탄성과 층서해석 개론 .....	33
제 2 절 연구해역에 대한 층서 분류 .....	37
제 4 장 연구 결과 .....	45
제 1 절 지질구조 해석 .....	45
Unit MM(middle Miocene or older)의 지질구조 .....	45
Unit ML(late Miocene)의 지질구조 .....	51
Unit P(Pliocene)의 지질구조 .....	51
Unit Q(Quaternary)의 지질구조 .....	55
제 2 절 탄성과 퇴적층서 해석 .....	55
Unit MM(middle Miocene or older) 퇴적층서 .....	55
Unit ML(late Miocene) 퇴적층서 .....	58
Unit P(Pliocene) 퇴적층서 .....	62
Unit Q(Quaternary) 퇴적층서 .....	62

제 5 장 토 의 ..... 67  
    제 1 절 지질구조 ..... 67  
    제 2 절 퇴적환경 ..... 69  
제 6 장 결 론 ..... 73  
감사의 글 ..... 75  
참고 문헌 ..... 77



## 표 목차(List of Tables)

Table 1. Stratigraphic correlation of Tsushima Strait and its surrounding region. ....	30
Table 2. Stratigraphic correlation between the study area and Tsushima Strait and Oki Strait areas. ....	43

## 그림 목차(List of Figures)

- Fig. 1. Simplified physiographic and tectonic elements map of East Sea and its surrounding area(modified after Yanai, 1989). The study area is indicated by shaded area. MTL=Median Tectonic Line ; BTL=Butsuzo Tectonic Line ; ISF=Itoigawa-Shizuoka Fault ; KTL=Kanto Tectonic Line ; TSZ=Tanakura Shear Zone ..... 20
- Fig. 2. Ship's track map of the study area. Heavy line segments with number show location of profiles illustrated in figures of this text. Locations of 5 exploration wells(open circle) and bottom sampling(closed triangle) are also shown. .... 22
- Fig. 3. Bathymetric map of Korea-Tsushima Straits region and the study area outlined by heavy line. Contours in meters. .... 24
- Fig. 4. Geologic map in and around the Shimane Peninsula, southwest Japan(modified after Geological Survey of Japan, 1992). YF=Yangsang Fault ; MTL=Median Tectonic Line ; BTL=Butsuzo Tectonic Line. 1=Quaternary alluvium ; 2=Quaternary volcanics ; 3=Miocene sedimentary rocks ; 4=Miocene granite ; 5=Tertiary volcanics ; 6=Paleogene & Cretaceous granite ; 7=Pre-Tertiary sedimentary rocks ; 8=Cretaceous volcanics ; 9=Paleozoic metamorphic rocks. .... 26
- Fig. 5. Geologic column of 6 exploration wells in the southern margin of Ulleung Basin(modified after Minami, 1979 ; Barg, 1986). 1=muddy sediments ; 2=sandy ; 3=pebbly ; 4=tuffaceous ; 5=coal material ; 6=intrusive ; 7=volcanics ; 8=shell ; 9=calcareous ; 10=metamorphism. 28
- Fig. 6. Depositional sequences. (a) Idealized geological section of a sequence. (b) Idealized chronostratigraphic section of a sequence. (c)

Characteristic types of seismic reflection terminations that are recognized in seismic sequences. .... 34

Fig. 7. Examples of seismic sections illustrating reflection continuity/discontinuity, high and low amplitude, and high and low frequency. .... 35

Fig. 8. Parts of seismic reflections illustrating reflection-free and chaotic reflection zones, and different types of stratified reflection geometry. .... 35

Fig. 9. Sketches illustrating descriptive terms that may be used to describe the external geometry of seismic facies. .... 36

Fig. 10. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing 4 Units, such as Unit Q(Quaternary), Unit P(Pliocene), Unit ML(late Miocene), and Unit MM(middle Miocene) in descending order. ...38

Fig. 11. An example of multi-channel seismic profile showing sequences that are divided into 4 Groups(X through D) in section and strongly deformed sedimentary layers older than D Group(after Itoh et al., 1992). .... 40

Fig. 12. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing 4 Units(Unit Q, Unit P, Unit ML, and Unit MM) that are divided by geologic information of Yamaguchi-1 well. .... 41

Fig. 13. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing 4 Units(Unit Q, Unit P, Unit ML, and Unit MM) that are divided by geologic information of Hamada-1 well. .... 42

Fig. 14. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing evidently folding structures of Unit MM that is unconformably covered by undeformed younger units. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area. ...46

Fig. 15. Time structural map of the top Unit MM(middle Miocene). Contour

depth(in second) is below present sea level. 1=reverse fault(sawteeth on upthrown side) ; 2=normal fault(bar on downthrown side) ; 3=fault(type uncertain) ; 4=anticline, showing plunge ; 5=syncline, showing plunge ; 6=monocline, showing plunge. .... 47

Fig. 16. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing depressed trough filled by thick sediment. .... 48

Fig. 17. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing strongly deformed and uplifted Unit MM with faults and folds structures by NNW-SSE compressional regime. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area. .... 49

Fig. 18. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing the Tsushima reverse faults that cut through sediment layers from Unit MM to Unit Q. .... 50

Fig. 19. Time structural map of the top Unit ML(late Miocene). Contour depth(in second) is below present sea level. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit ML. 1=reverse fault(sawteeth on upthrown side) ; 2=normal fault(bar on downthrown side) ; 3=fault(type uncertain). .... 52

Fig. 20. An example of single-channel seismic profile with interpreted section shows that each sequence boundaries deepens from south to north toward the Ulleung Basin. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area. .... 53

Fig. 21. Time structural map of the top Unit P(Pliocene). Contour depth(in second) is below present sea level. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit P. 1=reverse fault(sawteeth on upthrown side) ; 2=normal fault(bar on downthrown side) ; 3=fault(type uncertain). . 54

- Fig. 22. Time structural map of the Unit Q(Quaternary). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit Q. 1=normal fault(bar on downthrown side) ; 2=fault(type uncertain) ; 3=fault scarp on seabottom ; 4=fault scarp buried by sediments. .... 56
- Fig. 23. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showings fault scarps on the sea bottom and buried fault scarps in Unit Q. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area and intruded volcanic (vo) appears in Unit MM. Mounded form is also shown in Unit ML. .... 57
- Fig. 24. Seismic facies map of Unit ML(late Miocene). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit ML. 1=continuous reflection pattern ; 2=discontinuous reflection pattern ; 3=reflection-free pattern ; 4=mounded form ; 5=intrusive volcanics ; 6=base onlap. .... 59
- Fig. 25. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showings fault scarps on the sea bottom and intruded volcanic (vo) in Unit MM. .... 60
- Fig. 26. Sediment thickness map of Unit ML(late Miocene). Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit ML. ... 61
- Fig. 27. Seismic facies map of Unit P(Pliocene). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit P. 1=continuous reflection pattern ; 2=discontinuous reflection pattern ; 3=chaotic reflection pattern ; 4=base onlap. .... 63
- Fig. 28. Sediment thickness map of Unit P(Pliocene). Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit P. ... 64
- Fig. 29. Seismic facies map of Unit Q(Quaternary). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit Q. 1=continuous reflection pattern ; 2=discontinuous reflection pattern ; 3=chaotic reflection pattern ;

4=base onlap. .... 65

Fig. 30. Sediment thickness map of Unit Q(Quaternary). Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit Q. ... 66

Fig. 31. Total sediment thickness(Unit ML to Unit Q) map. Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of Unit MM. .... 71

## 제 1 장 서 론

연구해역은 동해 남단의 쓰시마 해협 북쪽 일부지역으로서, 지리적으로 서쪽과 동쪽은 각각 쓰시마 섬과 오키제도에 의해 경계되며, 북동쪽은 울릉분지 심해로 이어지는 울릉분지 남동 연변부에 위치한다(Fig. 1).

울릉분지 남쪽 연변부는 상당량의 퇴적물이 쌓여 있는 퇴적분지로서 해저자원인 석유의 매장 가능성을 보이는 매우 주목받는 지역이다. 따라서 한국 및 일본에서는 석유탐사가 꾸준히 이루어지고 있고, 석유탐사시 수행되었던 지질 및 지구물리 자료가 많이 확보되어 있으나 국가간의 자원확보에 따른 정치 및 경제적 이익을 위해 자료의 완전 공개를 꺼리고 있는 상태이다. 그러나 제한적이거나 이들 자료를 이용하여 울릉분지 남쪽연변부에 대한 해저 지질구조 및 퇴적환경이 밝혀지고 있다(Minami, 1979 ; Choi & Park, 1985 ; Barg, 1986 ; Park, 1991 ; Itoh et al., 1992). 또한 순수한 학문 목적으로 한국 및 일본의 연구기관에서 해양조사가 활발히 진행중에 있다. 특히 일본 지질조사소에는 쓰시마 해협에 대해 많은 해양 지질 및 지구물리조사가 수행되었다(Honza, 1978 ; Nagano et al., 1986 ; Arita et al., 1987). 해양 지질 및 지구물리탐사 자료의 분석 결과에 의하면 연구해역을 포함하는 퇴적분지내 제3기 퇴적층이 두텁게 분포하며, 지체구조적 변형을 받아 습곡 및 단층구조 등 매우 복잡한 지질구조가 발달해 있는 것으로 밝혀졌다(Honza et al., 1979 ; Minami, 1979 ; Itoh et al., 1992 ; Tamaki et al., 1982).

본 연구는 일본 지질조사소의 단채널 탄성과 탐사자료를 이용하여 정밀분석을 실시함으로써, 연구해역에 분포하는 신생대 퇴적층의 지질구조 및 퇴적환경을 밝히는데 목적이 있다. 중기 마이오세 및 고기 퇴적층의 강한 압축변형을 받아 형성된 습곡 및 단층구조와 거의 변형을 받지 않은 후기 마이오세 이후 퇴적층에 발달한 단층구조의 발달양상, 이와 함께 퇴적환경의 역사적 발달양상은 울릉분지

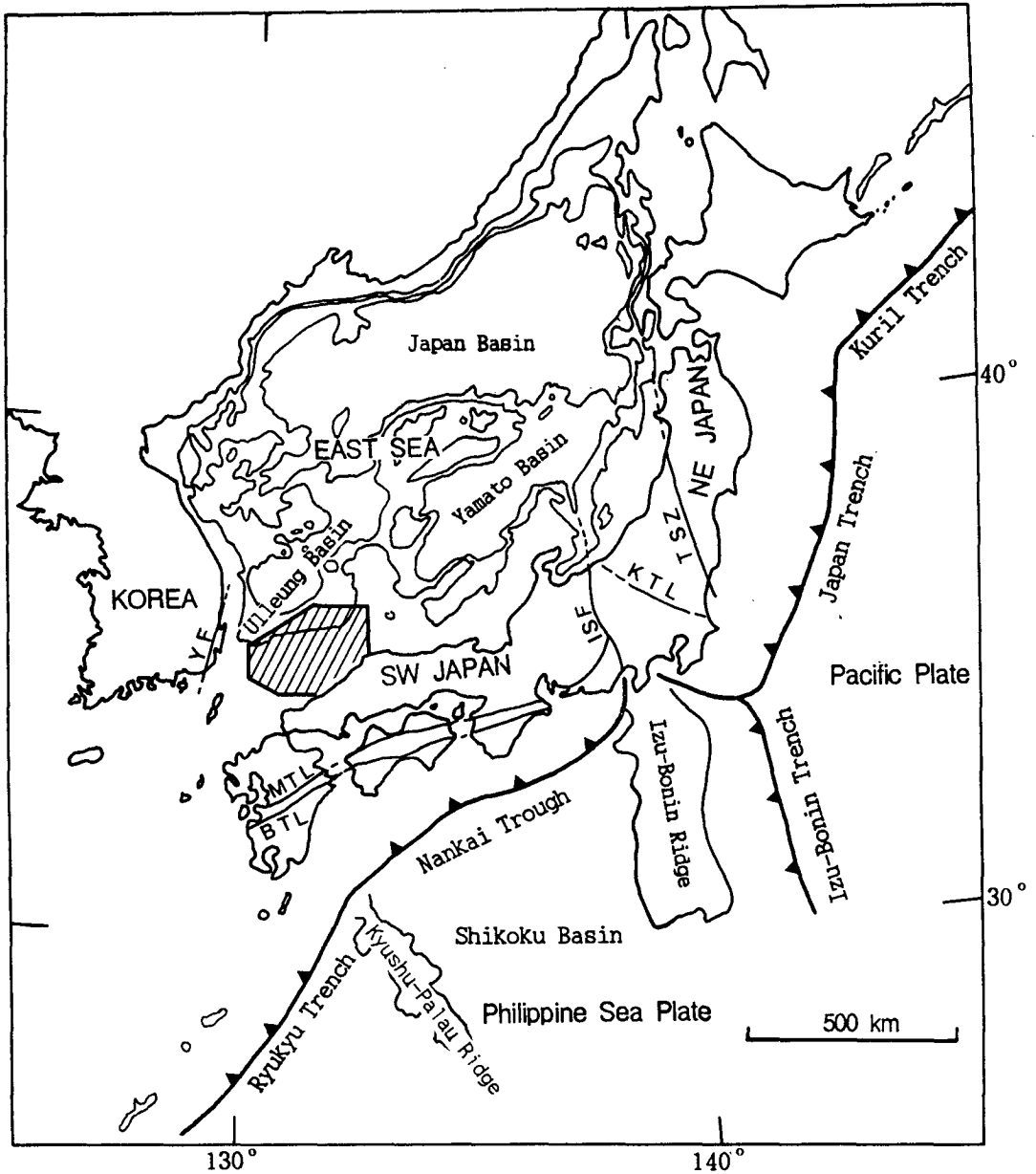


Fig. 1. Simplified physiographic and tectonic elements map of East Sea and its surrounding area(modified after Yanai, 1989). The study area is indicated by shaded area. MTL=Median Tectonic Line ; BTL=Butsuzo Tectonic Line ; ISF=Itoigawa-Shizuoka Fault ; KTL=Kanto Tectonic Line ; TSZ=Tanakura Shear Zone



의 생성에 대한 지체구조해석에 귀중한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 제 1 절 연구자료

본 연구에 이용된 자료는 일본 지질조사소에서 일본 주변해역에의 해양 지질도를 작성하기 위해 1985년과 1986년 2년에 걸쳐 해양 종합조사선 하쿠레이 호(R/V Hakurei Maru ; 약 1,800 톤)를 이용하여 획득한 탄성과 탐사자료 중 일부이다(Nagano et al., 1986 ; Arita et al., 1987)(Fig. 2 ). 탄성과 탐사자료는 단채널 에어건 탄성과 탐사시스템을 이용하였으며, 에어건의 용량은 120 cubic inch 이고 1,500 psi 압력으로 운영되었다. 발파시간 간격은 매 6 초 마다 실시하였으며, 수신기록 길이(record length)은 2 sec.로 하였다. 조사선의 속도는 약 10 노트(knots)를 유지하였으며, 위치는 NNSS-Loran-C 통합항법시스템(Magnavox Model 200)을 사용하였다.

탄성과 탐사자료 해석 결과에 대한 암상, 지사, 퇴적환경 등을 검증하기 위해 연구해역 및 주변해역에 분포하는 5개의 석유시추자료와(Minami, 1979) 오키제도 해역의 탄성과 탐사 자료와 코아 및 그랩 퇴적물에서 얻은 지질정보도 이용하였다(Tamaki et al., 1982).

## 제 2 절 해저지형

연구해역은 서남 일본의 외해역으로서 한국-쓰시마 해협과 울릉분지 심해해역 사이에 위치한다. 한국-쓰시마 해협은 동지나해와 동해를 연결짓는 해역으로서 강한 해류에 의해 침식받은 수심 약 200 m 이내의 대륙붕 해역으로 매우 복잡한 지형을 보인다. 이어서 울릉분지 심해를 향해 수심이 급격히 증가하는 대륙사면이 나타난다. 특히 한반도쪽의 대륙사면은 급한 경사면을 이루나 일본쪽의

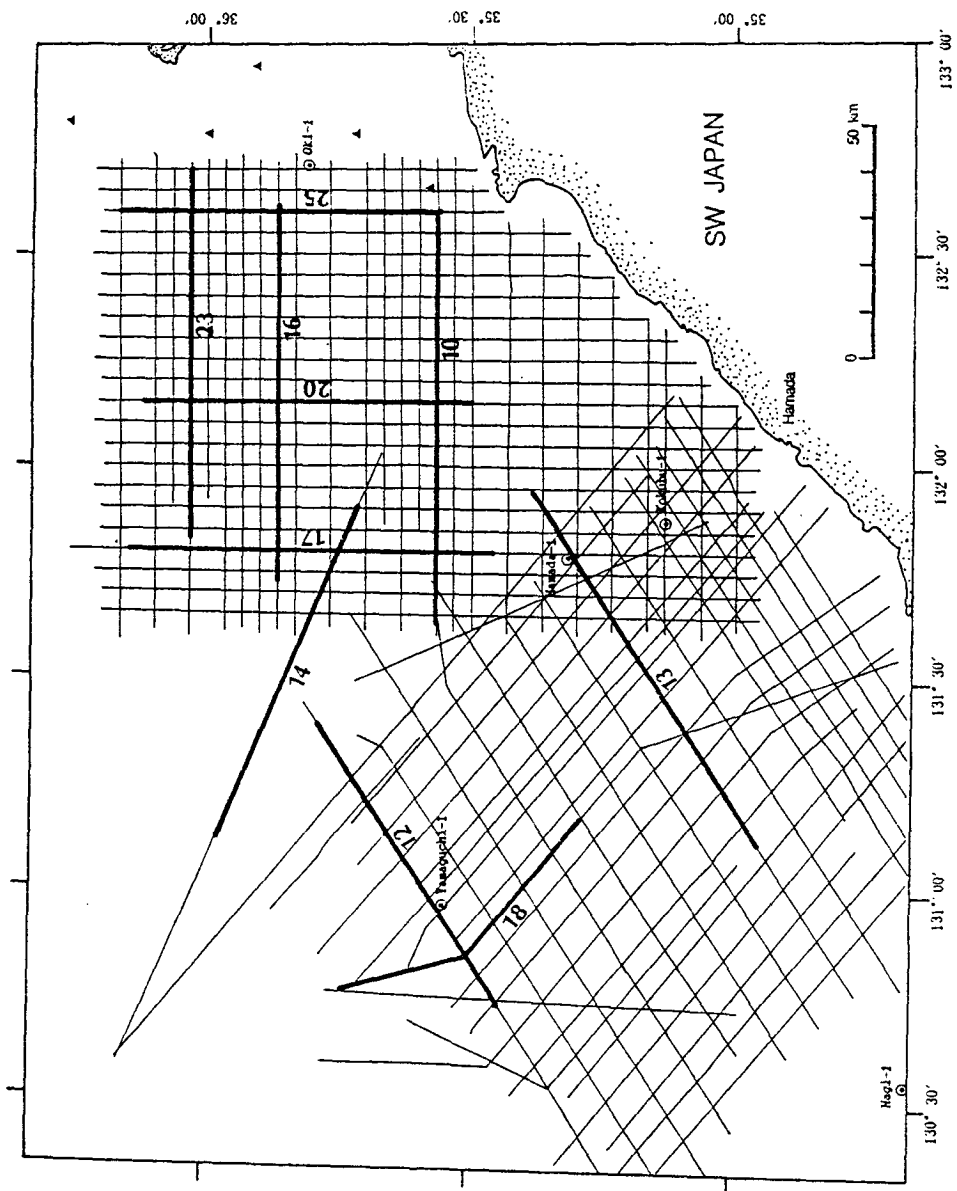


Fig. 2. Ship's track map of the study area. Heavy line segments with number show location of profiles illustrated in figures of this text. Locations of 5 exploration wells (open circle) and bottom samplings (closed triangle) are also shown.

대륙사면은 보다 완만한 경사면을 이루며 심해로 이어진다.

연구해역의 해저지형(Fig. 3)은 서쪽의 한반도를 향해 수심 약 150 m 이내의 대륙붕 해역과 북쪽의 울릉분지 중심부를 향해 대륙사면 해역이 발달했다. 대륙붕에는 지역적으로 불규칙한 해저지형이 분포한다. 또한 약 150 m 이상의 대륙사면은 동경 131° 20' 을 경계로 하여 동측해역은 심해를 향해 북쪽으로 완만하게 깊어지는 해저지형과 함께 최대 1,500 m 이상의 수심분포를 보이나, 서측해역은 비교적 급경사 지형을 보이며 수심이 깊어진다.

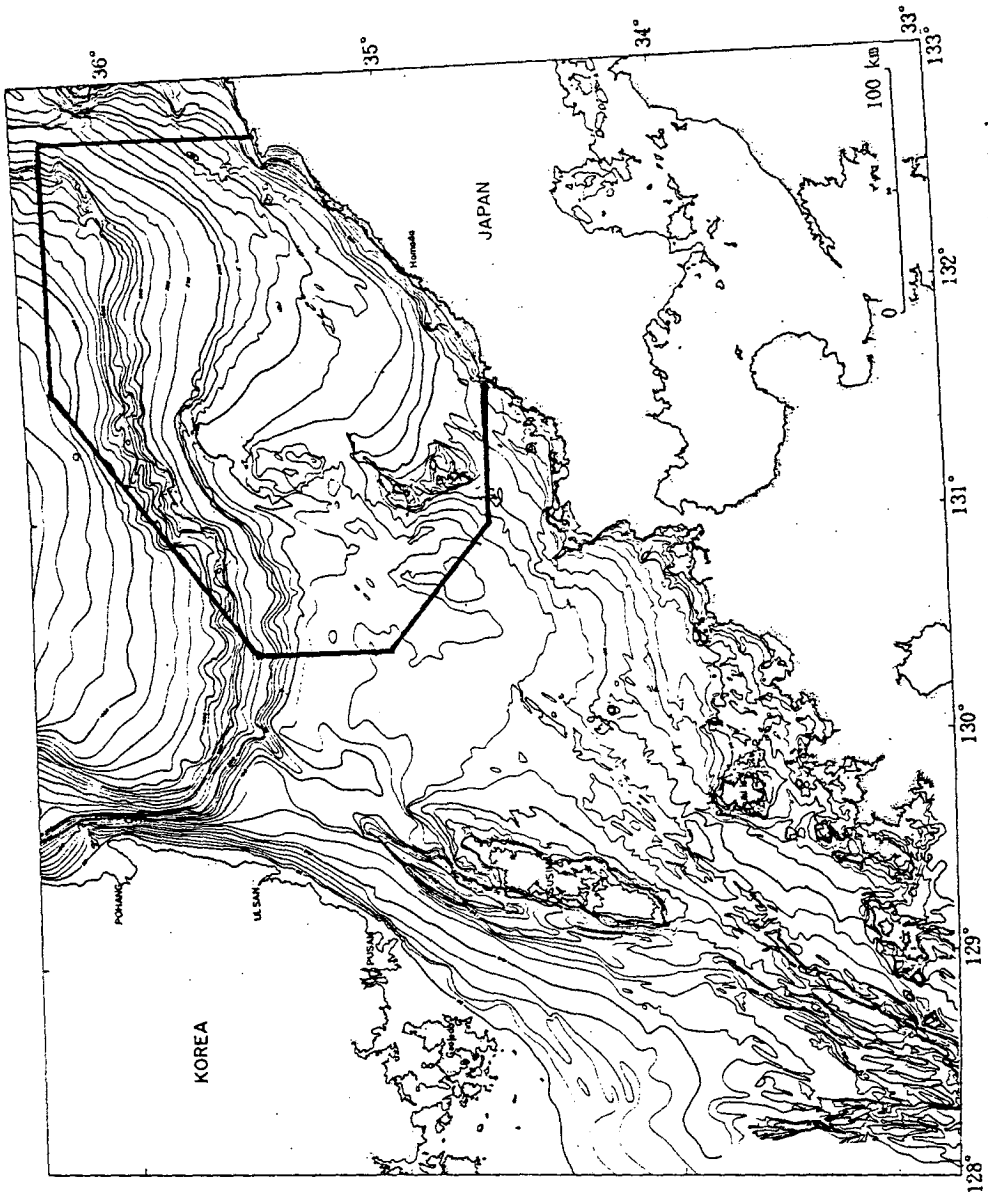


Fig. 3. Bathymetric map of Korea-Tsushima Straits region and the study area outlined by heavy line. Contours in meters.

## 제 2 장 일반 지질

### 제 1 절 서남 일본의 육상지질

일본 열도는 대부분이 고생대말에서 부터 신생대까지 외래 지괴(exotic terrane)들의 부가(accretion)로 형성된 열도이다. 서남 일본은 일본 중앙부의 남-북을 가로지르는 Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line(ISTL)을 경계로 동북 일본과 분리 설명된다(Tanaka & Nozawa, 1979).

서남 일본은 열도와 평행하게 가로지르는 중앙구조선(Median Tectonic Line)을 경계로 하여 동해와 인접하는 내대역(Inner Zone)과 태평양과 인접하는 외대역(Outer Zone)으로 크게 구분된다. 내대역에는 유라시아 육괴의 일부일 것으로 해석되는 선캠브리아의 Hida 변성암대를 기저로 하여 신생대까지 변성암, 화성암, 화산암, 그리고 퇴적암이 분포하고 있다. 연구해역과 바로 접하는 서남 일본내 산인(San-in)지역의 지질 분포는 북동쪽의 시마네 반도(Shimane Peninsula)에서 남서 해안을 따라 신제3기 퇴적암류가 분포하며, 하부에는 부정합으로 백악기-고제3기 화강암 및 화산암이 놓여 있다(Fig. 4). 시마네지역에서의 마이오세 퇴적암과 화산암이 우세하게 분포하며, 또한 남서해안을 따라 지역적으로 곳곳에 분포한다. 고제3기 화산암도 해안지역에서 일부 나타난다. 오키제도에는 신제3기 화산암이 대부분 지역에 분포한다. 신제3기 퇴적암과 화산암의 하부 기저부(basement)를 이루는 고제3기 화강암과 후기 백악기 화산암류가 내륙지역에서 넓게 분포하고 있다. 중생대 퇴적암과 변성암도 일부 해안지역에 나타난다.

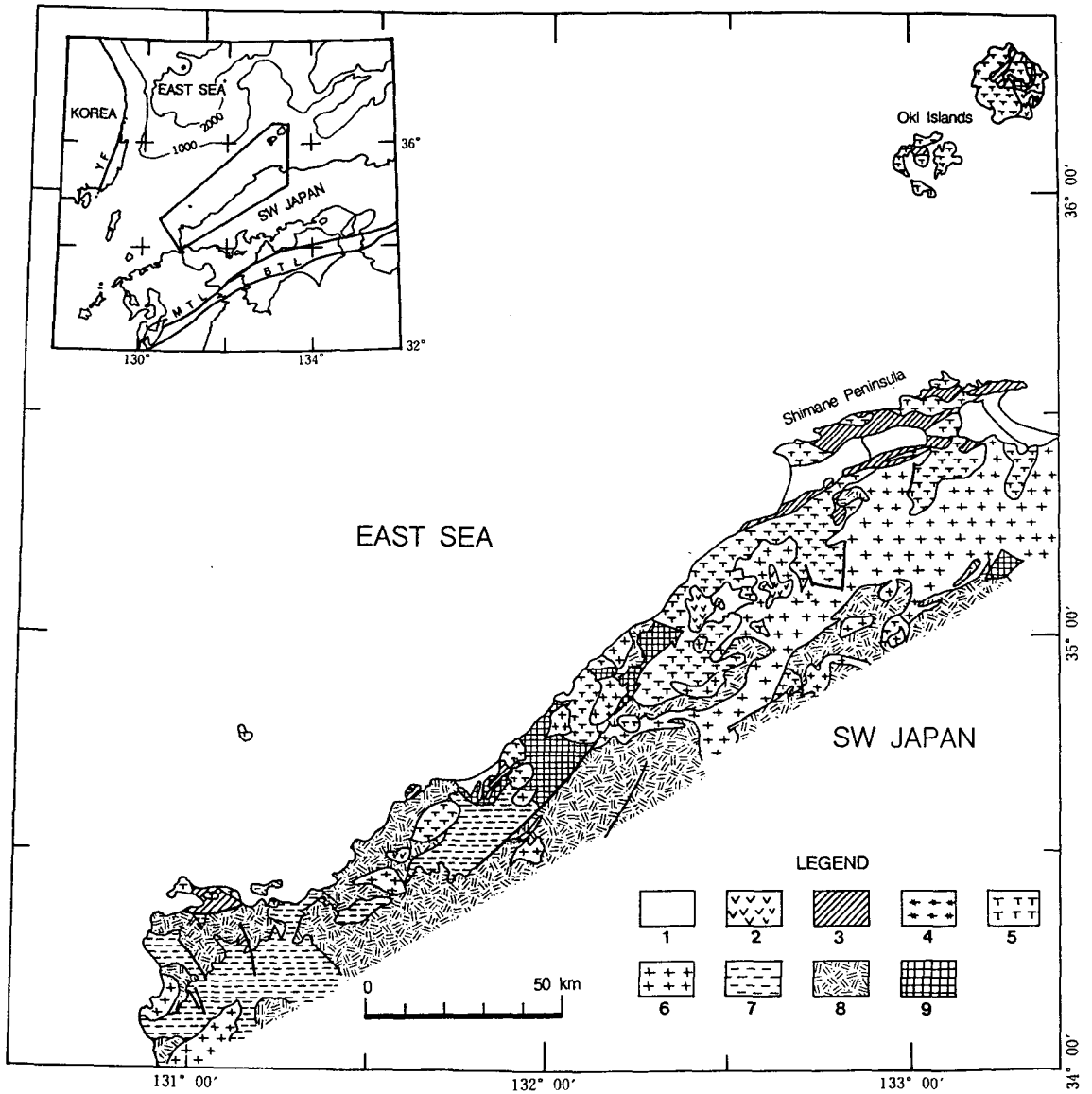


Fig. 4. Geologic map in and around the Shimane Peninsula, southwest Japan(modified after Geological Survey of Japan, 1992). YF=Yangsan Fault ; MTL=Median Tectonic Line ; BTL=Butsuzo Tectonic Line. 1=Quaternary alluvium ; 2=Quaternary volcanics ; 3=Miocene sedimentary rocks ; 4=Miocene granite ; 5=Tertiary volcanics ; 6=Paleogene & Cretaceous granite ; 7=Pre-Tertiary sedimentary rocks ; 8=Cretaceous volcanics ; 9=Paleozoic metamorphic rocks.

## 제 2 절 울릉분지 남쪽 연변부의 해저 지질 및 층서

울릉분지 남동해역에 위치하는 퇴적분지내 퇴적층에 대한 층서 및 지사연구는 Minami(1979)와 Itoh et al.(1992)로 부터의 발표자료가 거의 대부분이다. 이들은 석유탐사를 목적으로 시행한 다중채널 탄성파 탐사자료와 시추자료들을 이용하여 퇴적층의 층서와 지사를 구분하였다. 각 퇴적층에 대한 층서의 발달 특징과 지사는 음향기반암을 기저에 두고 하부에서 부터 상부로 가면서 X 층군, N 층군, K 층군, 그리고 D 층군으로 구분하였다(Minami,1979 ; Itoh et al.,1992)(Fig. 5 ). 다음은 이들의 발표된 자료와 최근에 일본의 신생대 층서 및 지사에 대한 보고서(Kano et al.,1991)를 비교 검토하여 정리하였다(Table 1 ).

1) X 층군 : 후기 올리고세에서 초기 마이오세 퇴적층으로 울릉분지의 형성 초기에 퇴적된 것으로 해석된다. 시추공이 본 퇴적층까지 투과하지 않아 직접적인 확인은 못했으나, 탄성파 반사층리의 발달양상과 대마도에 분포하는 Taishu 층군 하부지층과 대비하므로서 퇴적암과 일부 화산암류로 구성된 육성층에서 천해성층으로 추정하고 있다.

2) N 층군 : 초기 마이오세 말에서 중기 마이오세 하부까지의 퇴적층이다. 이 퇴적층은 초기 마이오세 말에 활발한 동북동-서남서 방향의 정단층을 수반한 신장 조구조운동(extentional tectonics)에 의해 깊은 퇴적분지가 형성되면서 해침(transgression)에 의해 수심이 증가하면서 두터운 퇴적층을 형성한 것으로 해석된다. 반사층리 양상은 반사층리의 빈도가 적고(low frequency), 불연속 반사층리(discontinuous reflection)가 특징적이며, 시추자료로 부터 반심해성 내지 심해성 니암과 얇은 터비다이트 퇴적물 그리고 화산암류가 산출되었다. 유공층 분석자료에서도 반심해내지 심해 퇴적환경임을 뒤받침한다. 상향 조립형(upward coarsening)의 사암은 전진형(prograding) 퇴적상을 보이므로서 삼각주 환경하에

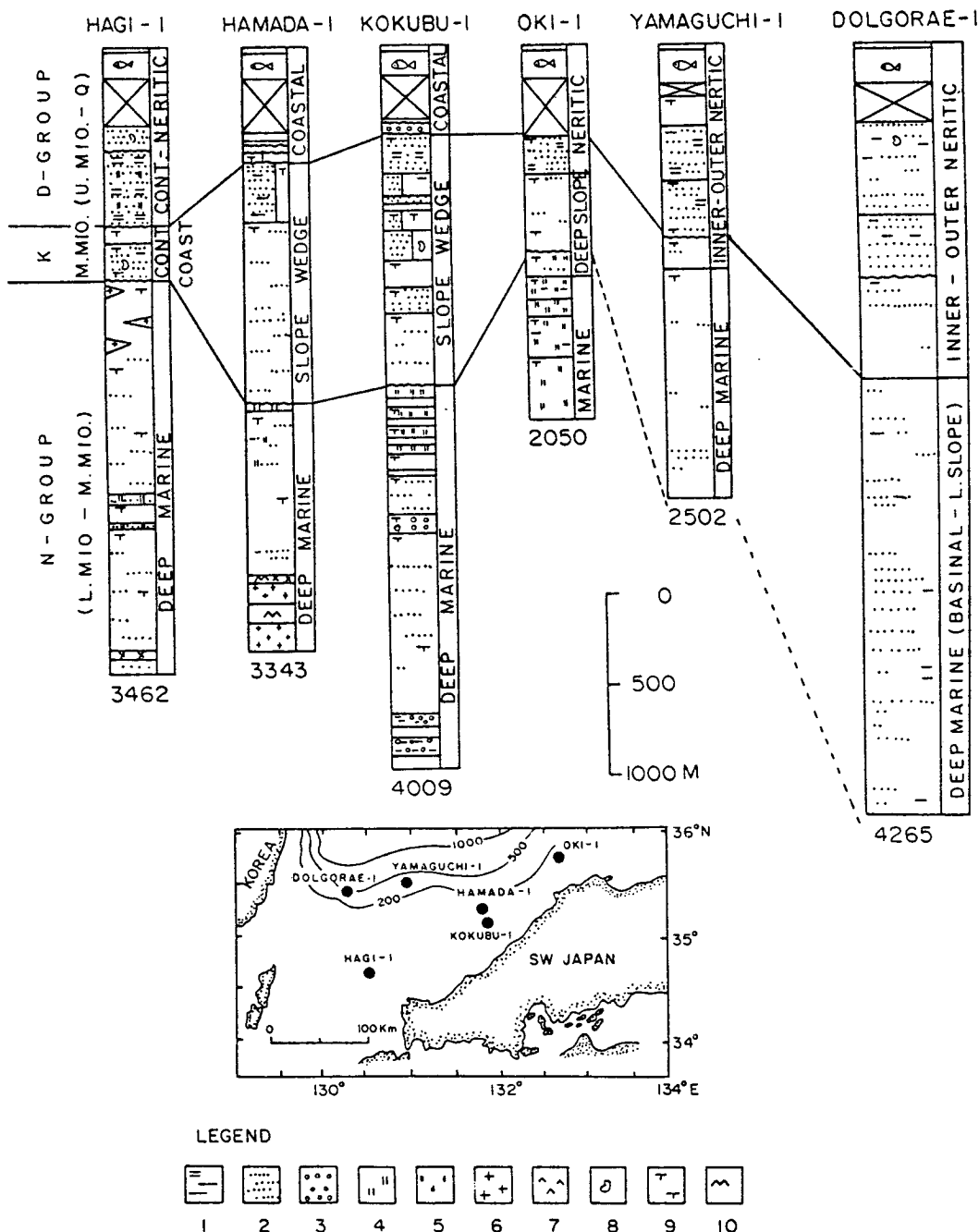


Fig. 5. Geologic column of 6 exploration wells in the southern margin of Ulleung Basin(modified after Minami, 1979 ; Barg, 1986). 1=muddy sediments ; 2=sandy ; 3=pebbly ; 4=tuffaceous ; 5=coal material ; 6=intrusive ; 7=volcanics ; 8=shell ; 9=calcareous ; 10=metamorphism.



서 퇴적된 것으로 추정된다. 본 층군은 대마도의 Taishu 층군 상부지층과 남서 일본의 시마네 반도에 분포하는 Josoji 층군과 대비된다. 본 층군의 퇴적말기에서 상부 K 층군 퇴적초기과정에서 냉수성 부유 유공층의 산출이 급격히 증가한다. 이 당시에 혼슈지역의 용기로 인한 태평양 난류가 고 동해로의 유입을 차단했던 것으로 해석된다.

3) K 층군 : 중기 마이오세에서 후기 마이오세 초까지의 퇴적층으로 시마네 반도의 Furue 층군과 대비된다. 반사층리 양상은 하부층에서 무층리(reflection-free)와 상부층의 연속 반사층리(continuous reflection)의 퇴적상을 보이며, 각각 반심해성-천해성 니암과 사교층리를 보이는 사질암과 대비된다. 퇴적층은 북동을 향해 퇴적되는 양상을 보이며, 일부 퇴적물은 구조적으로 상승된 남서부의 N 층군이 침식되면서 재퇴적되었을 가능성이 있다. 퇴적환경은 남서부의 천해환경에서 북동의 심해환경으로 발달한다. 본 층군 및 이하 층군은 구조적으로 매우 심하게 변형받은 지층구조가 발달해 있다. 이들의 지층구조는 습곡와 역단층이 우세하며, 발달방향은 대체로 북동-남서 내지 동북동-서남서 방향이다. 이들 구조는 북서-남동 방향에서 압축응력을 받아 형성된 것으로, 압축조구조운동은 K 층군의 퇴적말기인 후기 마이오세 초까지로 해석된다. K 층군이 배사 및 향사구조의 지층변형을 일으키면서 동시에 침식작용을 받아 경사 부정합 경계면을 형성하여 상부 D 층군과는 뚜렷이 구분된다.

4) D 층군 : 최상부인 본 층군은 후기 마이오세에서 현세까지의 퇴적층이다. 다수의 연속 반사층리 퇴적상을 보이며, 육성-천해성 쇄설퇴적물로 구성되어 있다. 본 층군의 최하부 지층은 시마네 반도에 분포하는 후기 마이오세 초의 Matsue 층군과 대비된다.

다시 D 층군을 세분하여 4개의 층(formation)으로 구분하였다(Inoue, 1982). D 층군은 부정합면이 G 층준(Horizon)과 D 층준 사이에 놓여 있으며, 비해성 내지 연안 사질암과 니암으로 구성되며 후기 마이오세에 해당된다. C 층은 비교적

Table 1. Stratigraphic correlation of Tsushima Strait and surrounding Regions

Age		Tsushima Strait (Minami, 1979)	Offshore Sanin (Itoh et al., 1992)	Tsushima Strait (Inoue, 1982)	Oki Strait (Tamaki et al., 1982)	
Quaternary	Holocene		D Group	A Formation	Q1 Layer	
	Pleistocene			B Formation	Q2 Layer	
Neogene	Pliocene			Horizon D	C Formation	P Layer
	Miocene			Late	Horizon G	D Formation
		Middle	K- Group	K Group	M2 Layer	
	Early	Horizon N	N- Group	N Group		
Paleogene	Oligocene	X- Group	X Group	X Group		
	Eocene					
	Paleocene					
Cretaceous				Acoustic Basement		

투명한 퇴적상과 지역적으로 사층리 구조를 보이며, 플라이오세에 대비된다. B 층은 초기 플라이스토세의 사층리 퇴적양상을 보이며, 쓰시마 섬과 Goto 열도 서측과 남측에 분포한다. 주로 반고결 사질, 역질, 그리고 빨질로 구성되었다. A 층은 후기 플라이스토세 퇴적층으로 빨질, 사질, 역질, 그리고 calcareous 사질 퇴적물이 얇게 수명층리로 분포한다.

또한 D 층군은 Tamaki et al. (1982)에 의해서 오키 제도 주변에서 획득한 탄성파 자료의 각 퇴적층서와 해저 퇴적물의 연대측정 결과와 상호대비하여 후기 마이오세 이후 퇴적층을 플라이오세(P)와 제4기층으로 구분하였다. 다시 제4기층을 후기(Q1)와 전기(Q2)로 각각 세분하였다. P 층은 응회질 사암 등의 퇴적암이고, Q1 층은 실트, 모래, 역질 퇴적물, Q2 층은 주로 실트와 점토질의 반고결 퇴적물로 구성되었다.

## 제 3 장 연구 방법

### 제 1 절 탄성과 층서해석 개론

탄성과 층서학(seismic stratigraphy)은 탄성과 자료의 층서해석을 지질학적으로 접근하는 것이다. 탄성과 반사(seismic reflection)는 암석이 갖은 고유의 속도-밀도 차이에 의해 탄성과 반사로 표현되며 이는 지질학적 개념으로 직접 응용된다. 따라서 탄성과 단면도상에서 탄성과 반사는 퇴적층리의 물리적 표현으로서 지질학적 정보의 기록인 것이다. Vail et al.(1977)에 의해 개발된 탄성과 층서학(seismic stratigraphy)의 기본 개념 및 해석 순서에 따라 일반적으로 탄성과 단면을 해석한다.

첫번째 탄성과 층서분석(seismic sequences analysis)을 실시하였는데, 시간층서적으로 한정된 동시대적 구간내에서 같은 기원에 의해 형성된 퇴적층서 단위인 퇴적층서(depositional sequences)를 구분한다. 각 퇴적층서 단위(unit)의 상부 및 하부는 부정합(unconformities) 내지 상호대비적인 정합(correlative conformities)의 경계면으로 구분되며, 이 경계면은 탄성과 단면도상에 나타나는 탄성과 반사층리의 종결양상(reflection terminations)으로 부터 인지된다. 반사층리 종결양상은 온랩(onlap), 다운랩(downlap), 톱랩(toplap), 그리고 침식 절삭(erosional truncation)으로 구분된다(Fig. 6 ).

두번째는 각 퇴적층서 단위의 탄성과 퇴적상분석(seismic facies analysis)이다. 탄성과 퇴적상분석은 반사층리의 발달성격(reflection character), 반사층리의 발달모양(reflection configuration), 3 차원적 발달외형(external geometry) 등의 의해 구별된다. 다시 반사층리의 발달성격은 반사층리 연속성(reflection continuity), 반사층리 진폭의 크기(reflection amplitude), 반사층리의 발생빈도(reflection frequency)로(Fig. 7 ), 그리고 반사층리 발달모양은

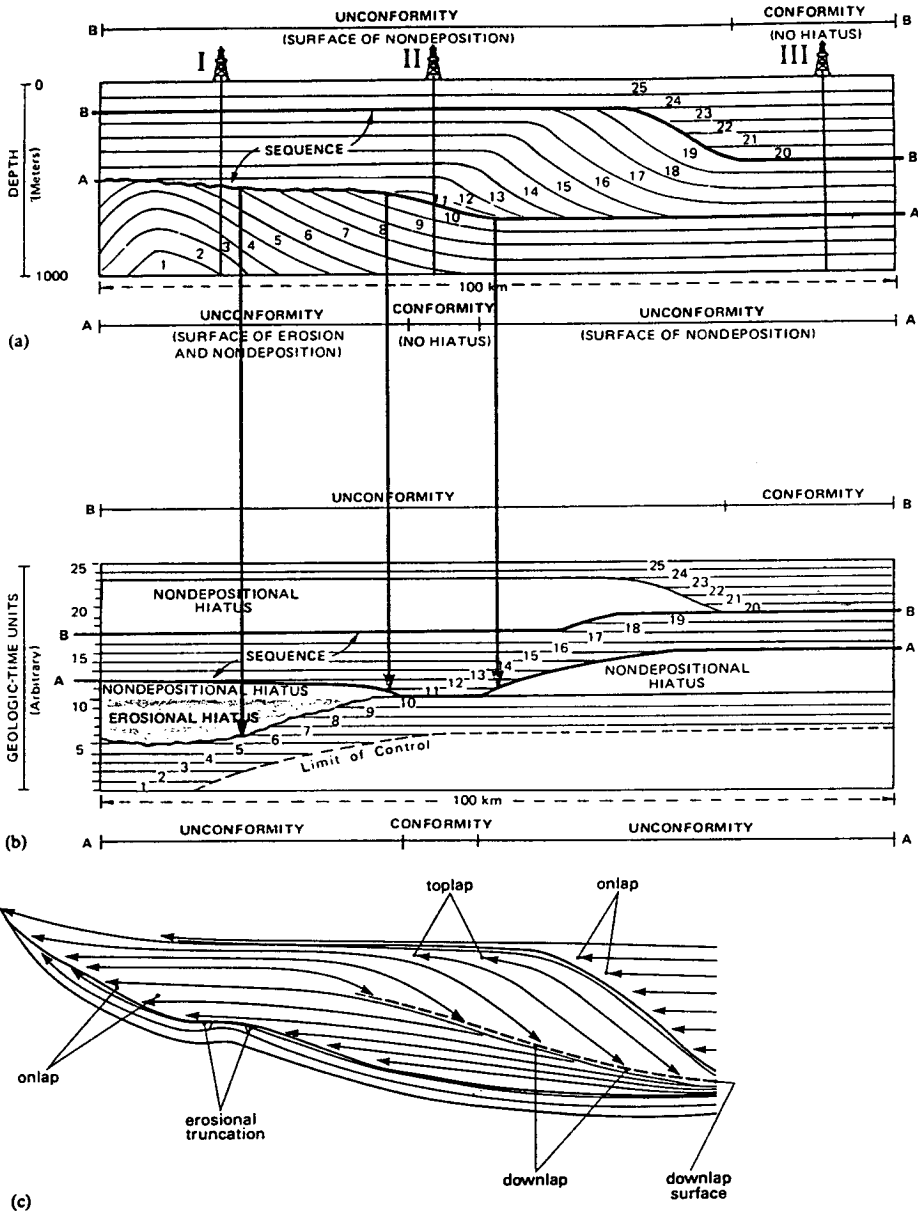


Fig. 6. Depositional sequences. (a) Idealized geological section of a sequence. (b) Idealized chronostratigraphic section of a sequence. (c) Characteristic types of seismic reflection terminations that are recognized in seismic sequences.

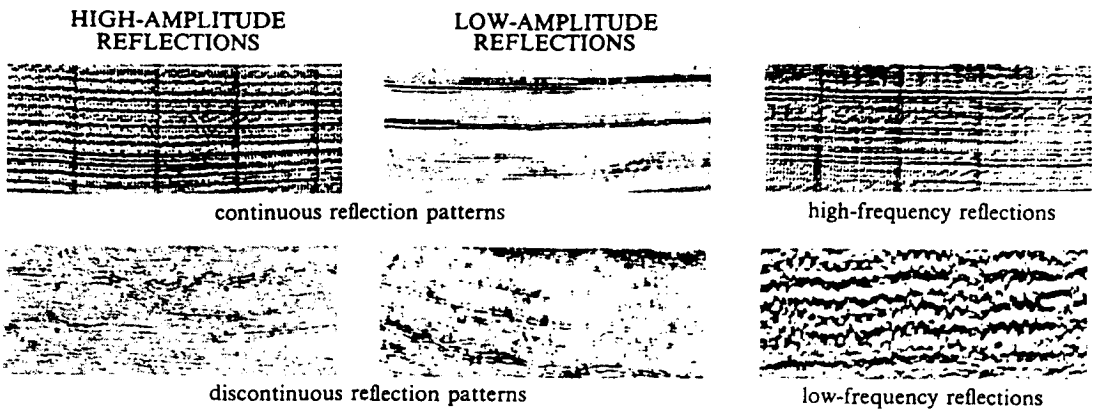


Fig. 7. Examples of seismic sections illustrating reflection continuity/discontinuity, high and low amplitude, and high and low frequency.

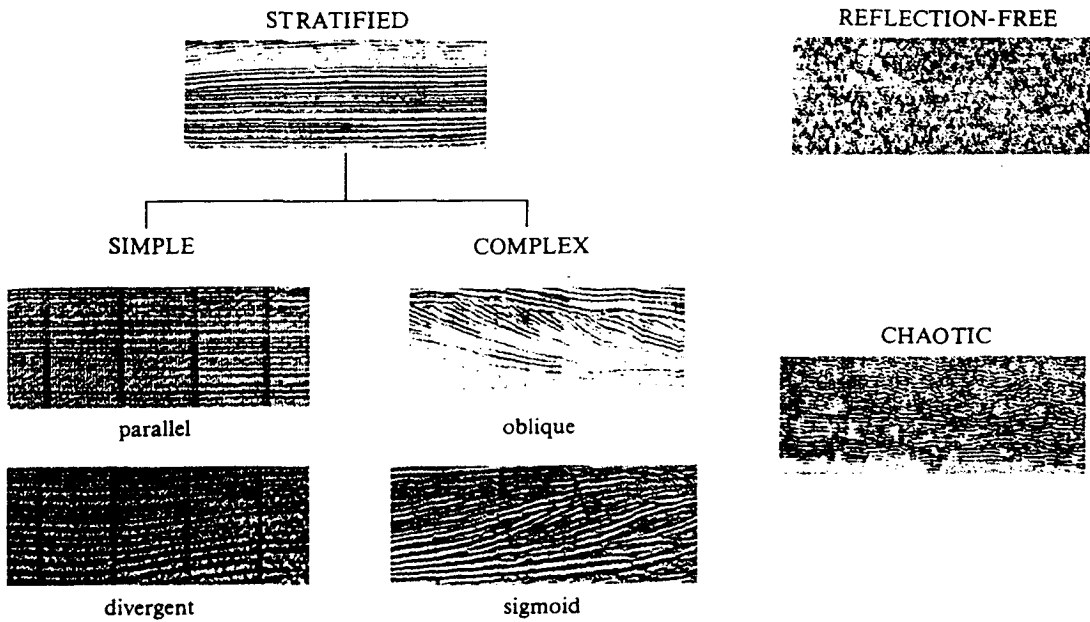


Fig. 8. Parts of seismic reflections illustrating reflection-free and chaotic reflection zones, and different types of stratified reflection geometry.

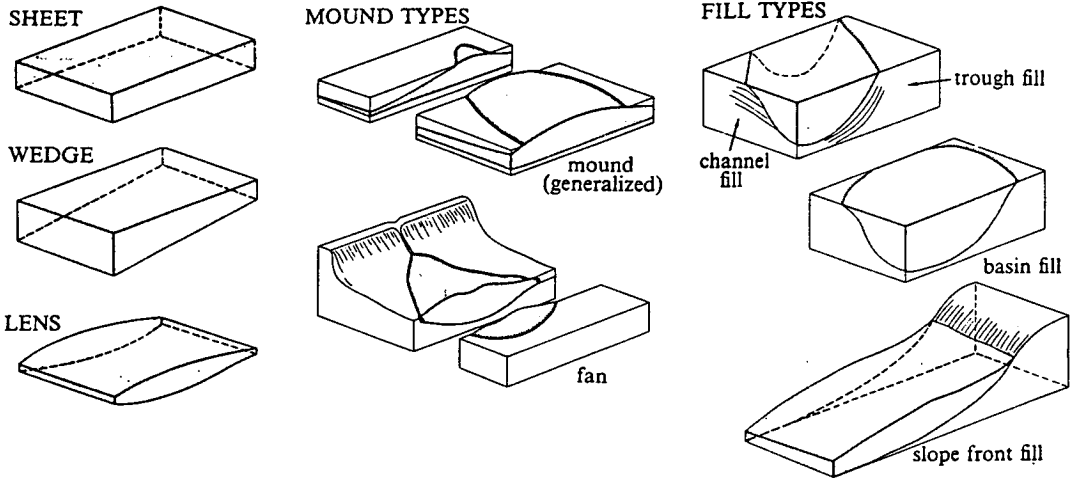


Fig. 9. Sketches illustrating descriptive terms that may be used to describe the external geometry of seismic facies.

무충리 양상(reflection-free), 반사충리의 양태(stratified), 반사충리의 혼탁 양상(chaotic)으로 표현된다(Fig. 8 ). 또한 3 차원적 발달외형은 박판형(sheet type)), 둔덕형(mounded type), 충전형(fill type), 쐐기형(wedge type), 그리고 렌즈형(lens type) 등으로 발달한다(Fig. 9 ). 상기에 분류된 탄성과 퇴적상을 실제 탄성과 단면도 해석시 적용하므로서 각 퇴적층서의 퇴적암상이나 퇴적환경 그리고 퇴적과정을 광역적으로 예측하고 이해할 수 있다.

세번째는 탄성과 퇴적층서와 그들의 상 하 경계인 부정합면은 범 세계적 층서연대기(chronostratigraphy)와 상호대비되는 것으로 탄성과 층서학자들은 믿고 있다. 따라서 이들은 세계 각지에서 획득한 탄성과 자료와 시추자료들을 이용하여 범세계 해수면 변화의 표준도표를 작성하였다. 범세계 해수면 변화도와 연구해역에의 탄성과 층서해석시 각각 퇴적층서에 대한 상대적 해수면 변화와의 상호 대비하므로서 좀 더 정확한 시기설정, 부정합면의 시기, 고퇴적환경, 그리고 암상 등을 예견할 수 있다.

이상의 탄성과 퇴적층서의 분석 방법에 입각한 탄성과 단면도 해석과 함께 연구지역이나 주변에서의 시추자료와 상호대비하여 정확한 지질학적 정보를 얻는다. 시추자료로 부터는 일차적으로 퇴적암상을 해석하여 탄성과 퇴적층서와 대비하며, 생층서학(biostratigraphy)적 지사구분과 범세계적 해수면 변화 도표와 비교 검토하므로서 정확하고 종합적인 해석을 할 수 있다.

## 제 2 절 연구해역에 대한 층서 분류

연구해역에서 획득한 단채널 에어건 탄성과 단면도 분석은 이미 설명된 탄성과 층서해석법에 따라 탄성과 층서분석은 하위에서 상위으로 가면서 Unit MM, Unit ML, Unit P, 그리고 Unit Q의 4개 Unit로 구분하였다(Fig. 10 ). 우선 구분된 각각의 Unit에 대한 지질구조의 발달양상을 밝히기 위해 지질구조도를 작성



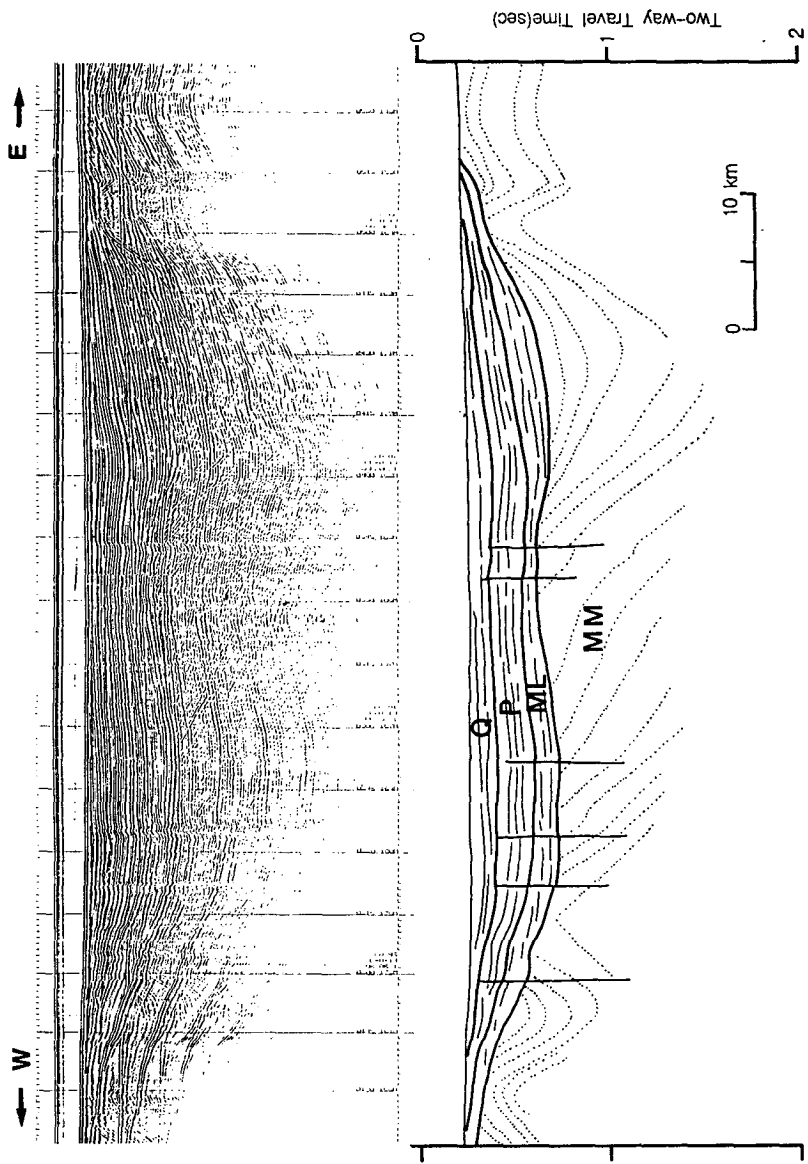


Fig. 10. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing 4 Units, such as Unit Q(Quaternary), Unit P(Pliocene), Unit ML(late Miocene), and Unit MM(middle Miocene) in descending order.

하였다. 다음에는 퇴적환경을 분석하기 위해 각 Unit에 대한 퇴적층후도와 탄성파 퇴적상 특징도를 작성하였다.

각 Unit에 대한 시기설정은 후기 마이오세 이전의 지층인 경우 연구해역에 위치하는 석유시추공 자료(Fig. 5) 및 심부 탄성파 단면도(Fig. 11)(Minami, 1979; Itoh et al., 1992)와 본 연구에 이용된 탄성파 단면도(Fig. 12, 13)를 상호비교하여 결정하였다. 또한 플라이오세와 제4기 층서는 연구 해역 동측에 위치하는 오키제도 주변 해역에서 대한 탄성파 퇴적층서 분류 기준과 해저 퇴적물의 년대측정 결과들을 상호대비하여 결정하였다(Tamaki et al., 1982). 연구 해역에서의 각 Unit 대한 층서 분류 및 시기는 다음 표 2 와 같다.

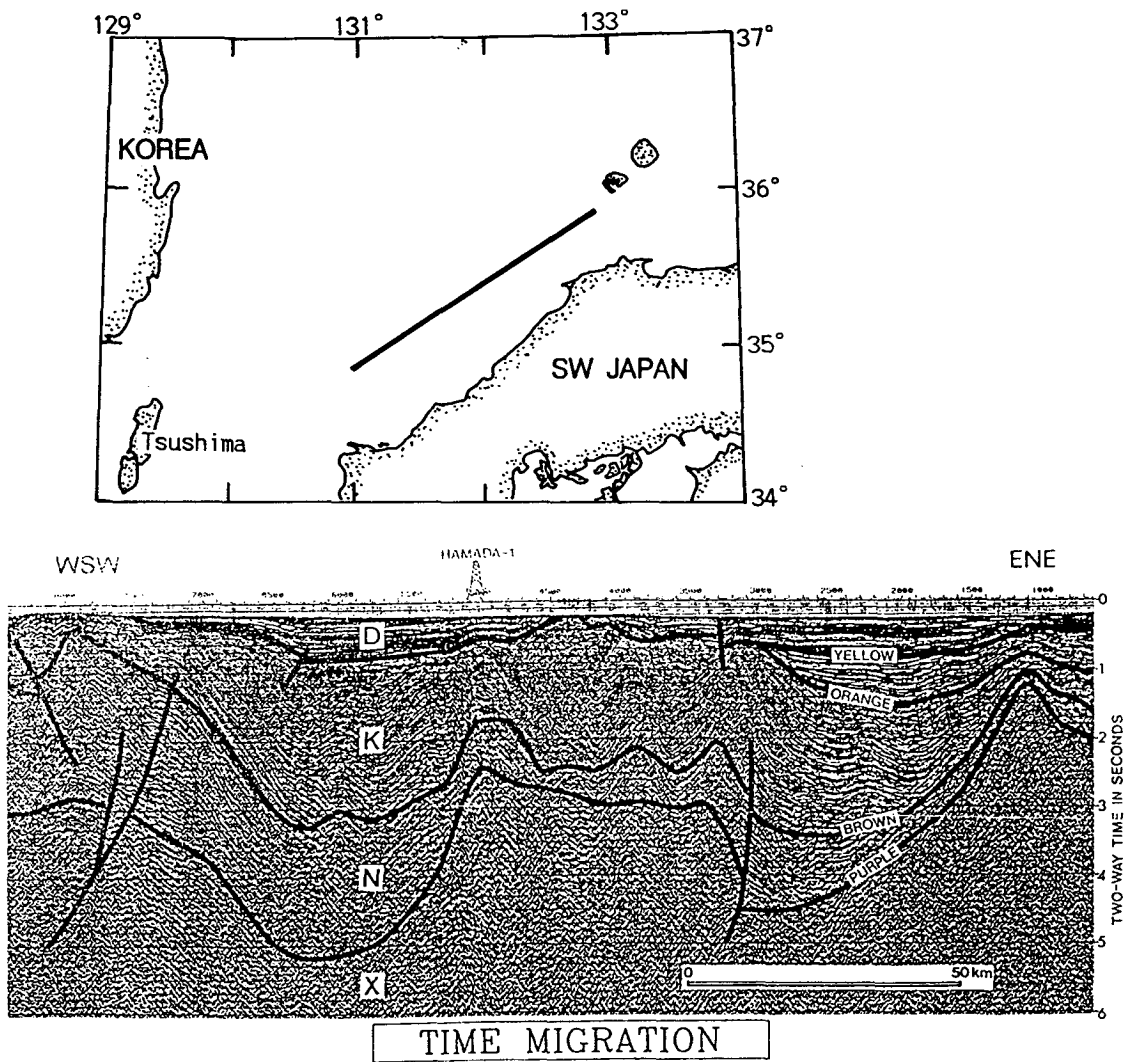


Fig. 11. An example of multi-channel seismic profile showing sequences that are divided into 4 Groups(X through D) in section and strongly deformed sedimentary layers older than D Group(after Itoh et al., 1992).

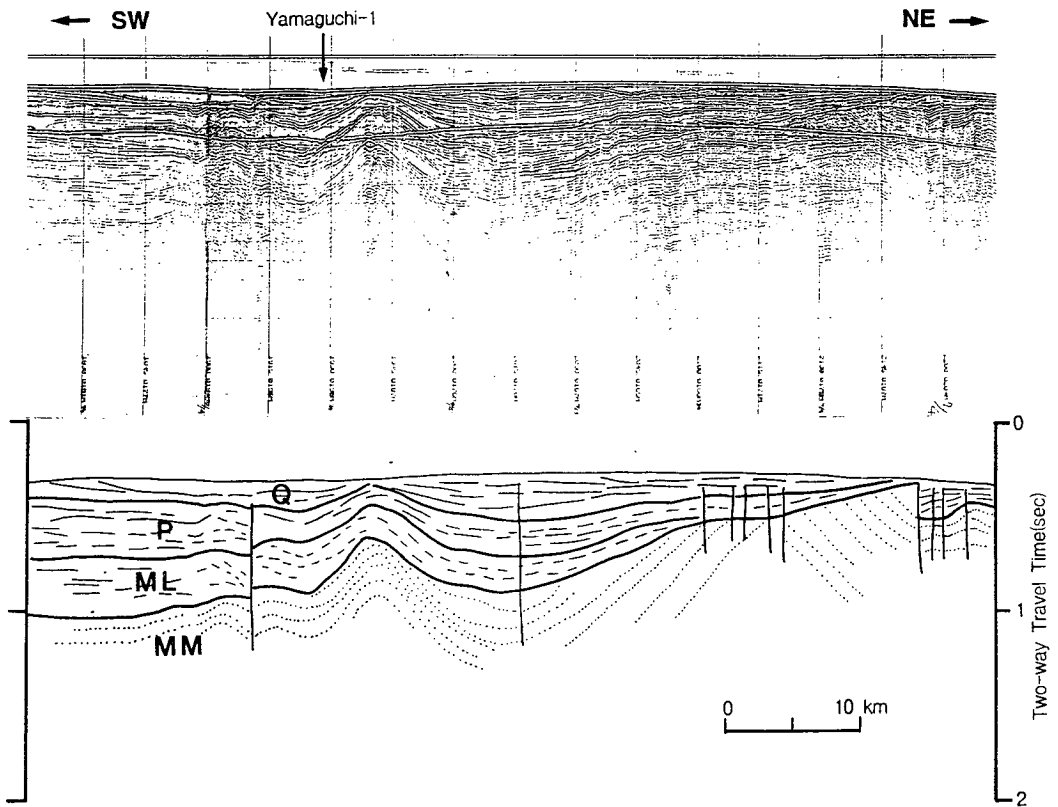


Fig. 12. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing 4 Units(Unit Q, Unit P, Unit ML, and Unit MM) that are divided by geologic information of Yamaguchi-1 well.

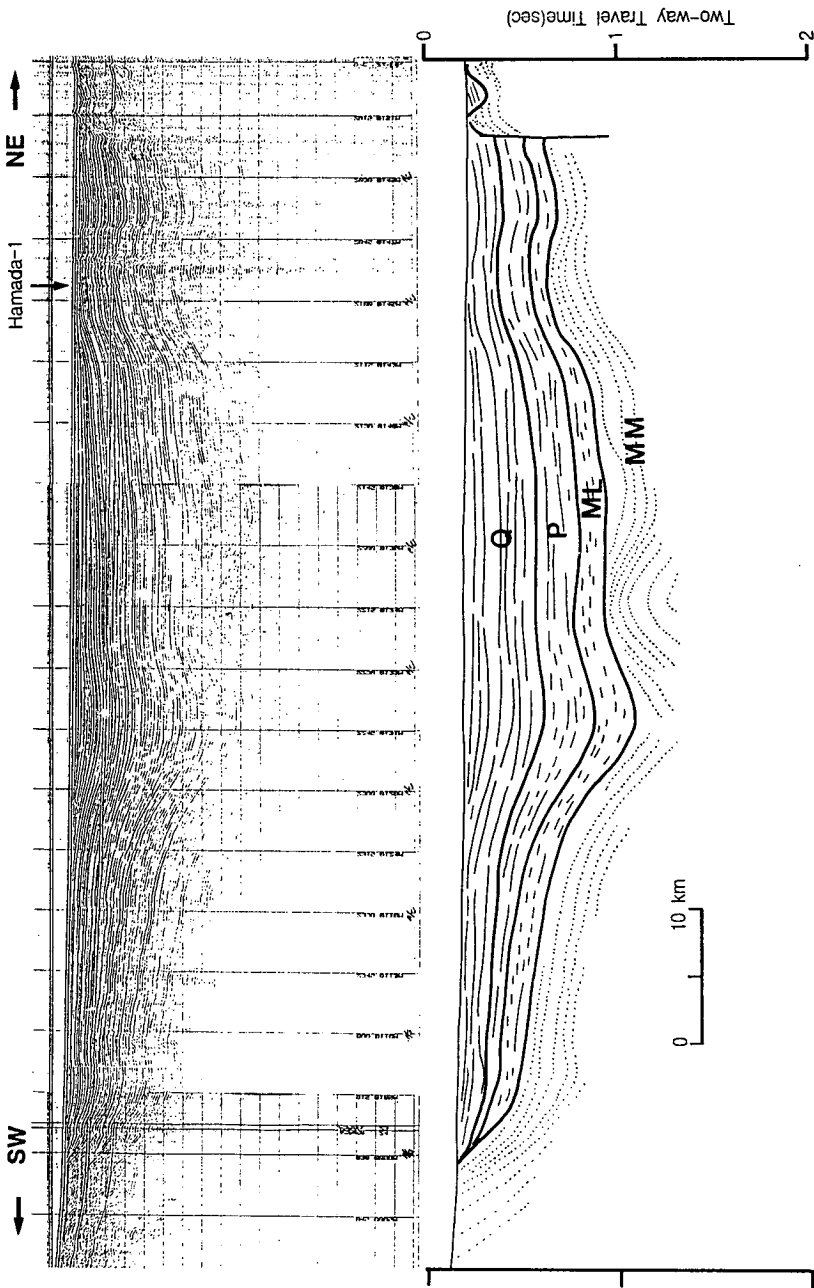


Fig. 13. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing 4 Units(Unit Q, Unit P, Unit ML, and Unit MM) that are divided by geologic information of Hamada-1 well.

Table 2. Stratigraphic correlation between the study area and Tsushima Strait and Oki Strait areas.

Age		Tsushima Strait (modified after Minami, 1979; Inoue, 1982; Itoh et al., 1992)		This study area	Oki Strait (Tamaki et al., 1982)
Quaternary	Holocene	D Group	A Formation	Unit Q	Q1 Layer
	Pleistocene		B Formation		Q2 Layer
Pliocene			C Formation	Unit P	P Layer
Neogene	Miocene		Late	D Formation	Unit ML
		Middle	K Group		Unit MM
	Early	N Group		M2 Layer	
	Paleogene		X Group		



## 제 4 장 연구 결과

### 제 1 절 지질구조 해석

Unit MM(middle Miocene or older)의 지질구조

지층단면도상에서 최하부층으로서 중기 마이오세 및 고기퇴적층에 해당되며, 상위 지층과는 뚜렷한 경사 부정합 관계를 이루며 경계진다(Fig. 14 ). Unit MM의 상부 구조도(Fig. 15 )에서 0.5 sec 이하의 용기지역은 서남 일본의 해안을 따른 근해역과 연구해역 중앙부에 대체로 북동-남서 방향으로 발달 분포한다. 그 이상의 등구조선 깊이를 보이는 침강지역은 해안에서 약 90 km 떨어진 북동-남서 방향성의 용기지역을 중심으로 구분하여 설명된다. 즉 용기지역 동측은 연구해역 동쪽에 위치하는 오키뱅크사이에 침강지역이 발달해 있다. 발달양상은 남쪽에서 북쪽의 울릉분지를 향해 점차 깊어지는 트러프(trough) 형태를 이룬다(Fig. 16 ). 또한 서측지역은 점차 북북서 방향으로 울릉분지를 향해 깊어진다.

내부지층은 매우 심하게 구조적 변형을 받아 단층 및 습곡구조가 우세하게 발달해 있다(Fig. 17 ). 단층은 주로 역단층 구조가 매우 우세하며 지역적으로 일부 정단층구조가 분포하고 있다. 향사 및 배사 습곡구조도 잘 발달해 있다. 이들 구조들은 Unit MM이 강한 압축력을 받아 용기 및 침강운동 등 지질구조의 단축변형(shortening)되었음을 시사하고 있다. 습곡 및 단층 구조선의 발달 방향은 거의 같은 방향성을 보여주고 있다.  $131^{\circ} 30'$  을 경계로 하여 서측 지역에 발달한 구조선 방향은 대체로 북동-남서방향이 우세하지만, 동측지역으로 향하면서 동북동-서남서방향에서 동-서방향으로 그리고 다시 동북동-서남서방향으로 점차 변화한다. 규모가 큰 역단층이 서쪽 지역에 대체로 동-서방향으로 발달해 있으며, 동쪽 상반이 서쪽 지괴를 향해 상승(upthrown)하고 있다(Fig. 18 ). 이



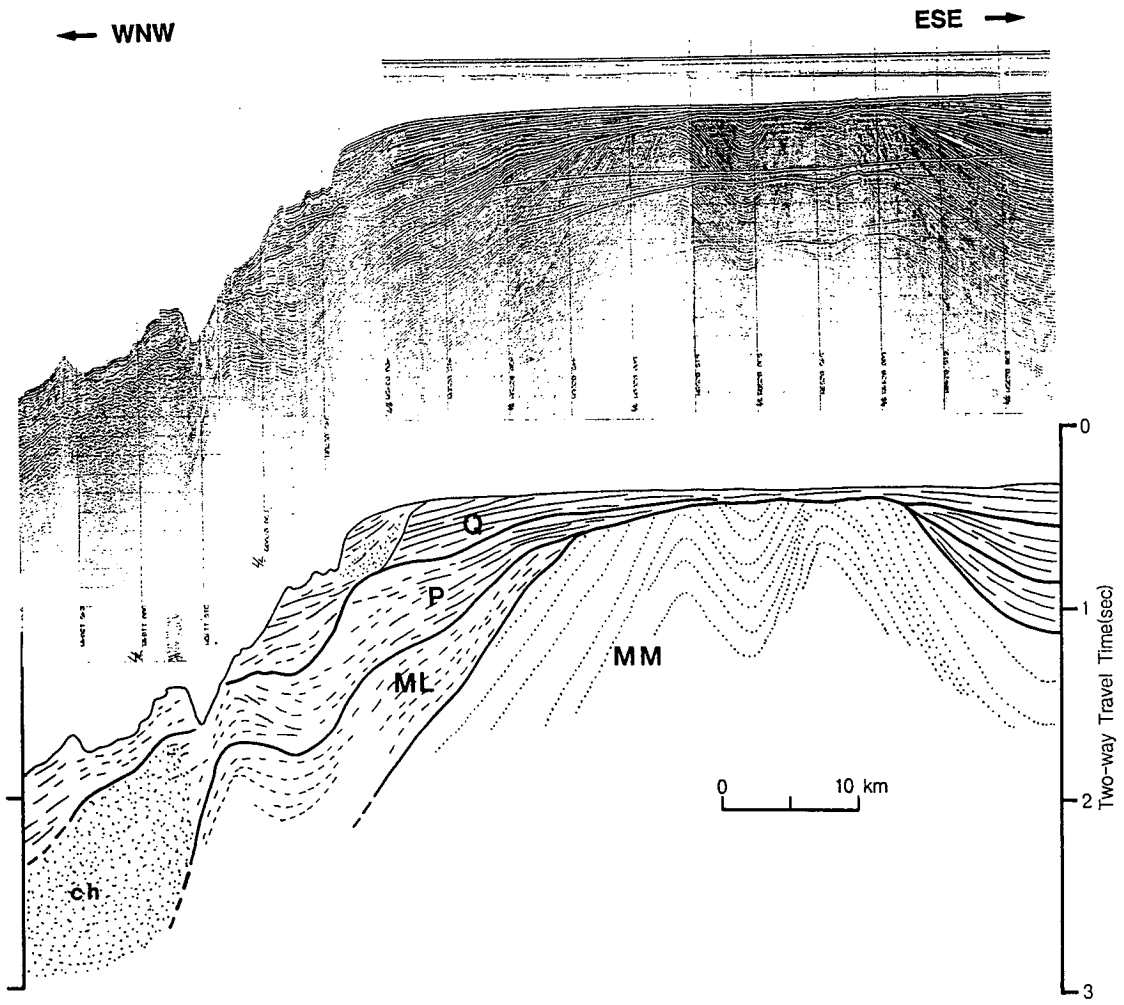


Fig. 14. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing evidently folding structures of Unit MM that is unconformably covered by undeformed younger units. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area.

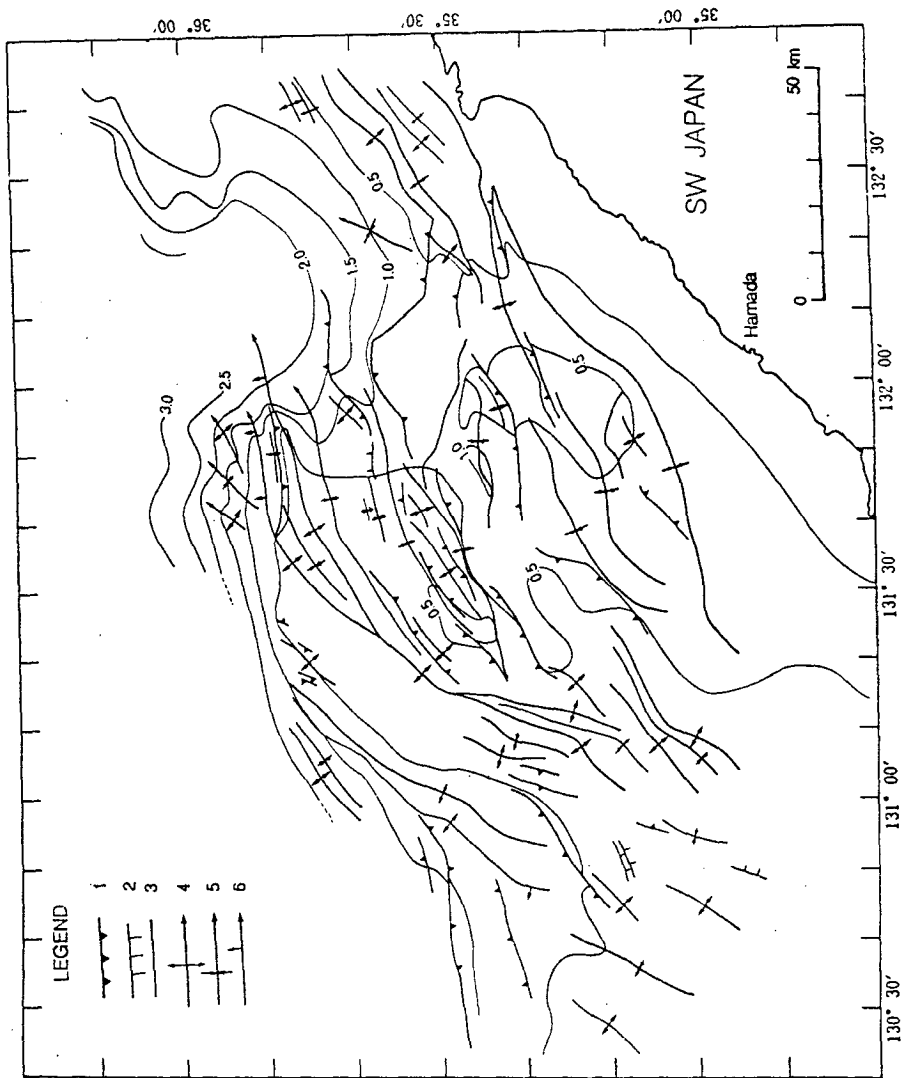


Fig. 15. Time structural map of the top Unit M (middle Miocene). Contour depth (in second) is below present sea level. 1=reverse fault (sawteeth on upthrown side); 2=normal fault (bar on downthrown side); 3=fault (type uncertain); 4=anticline, showing plunge; 5=syncline, showing plunge; 6=monocline, showing plunge.

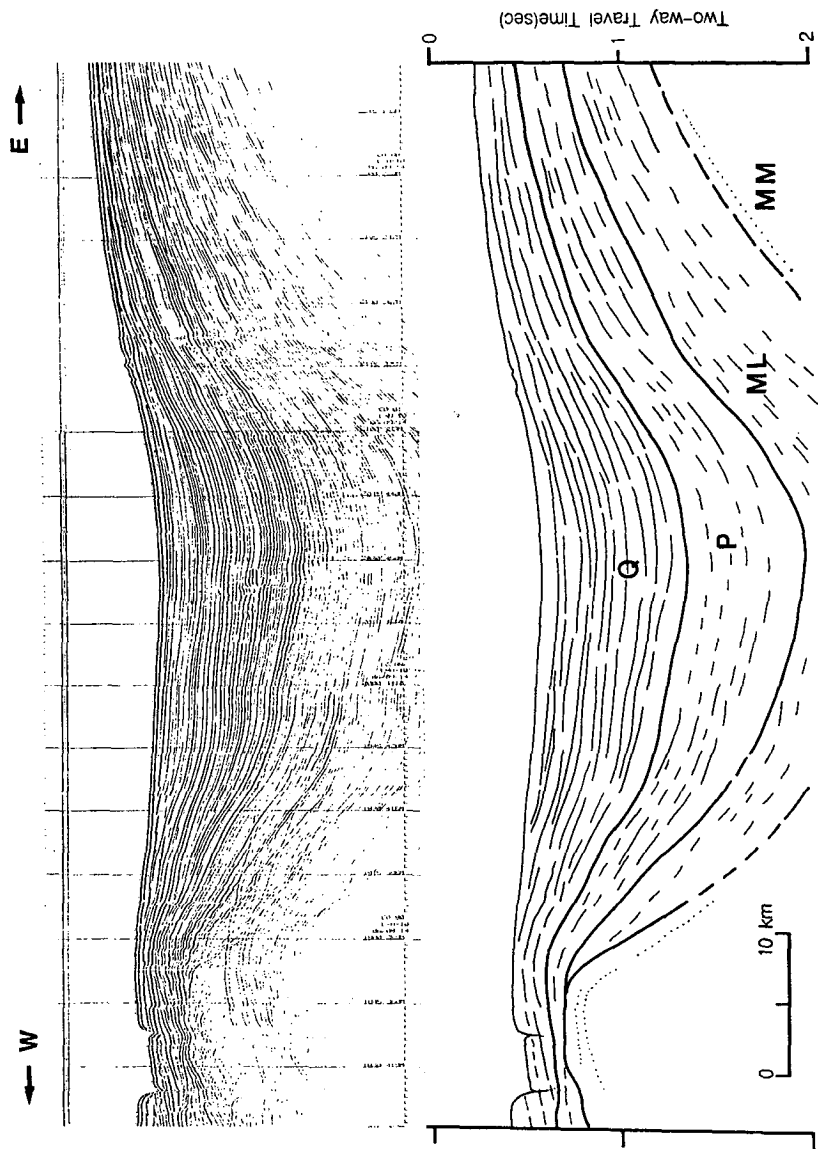


Fig. 16. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing depressed trough filled by thick sediment.

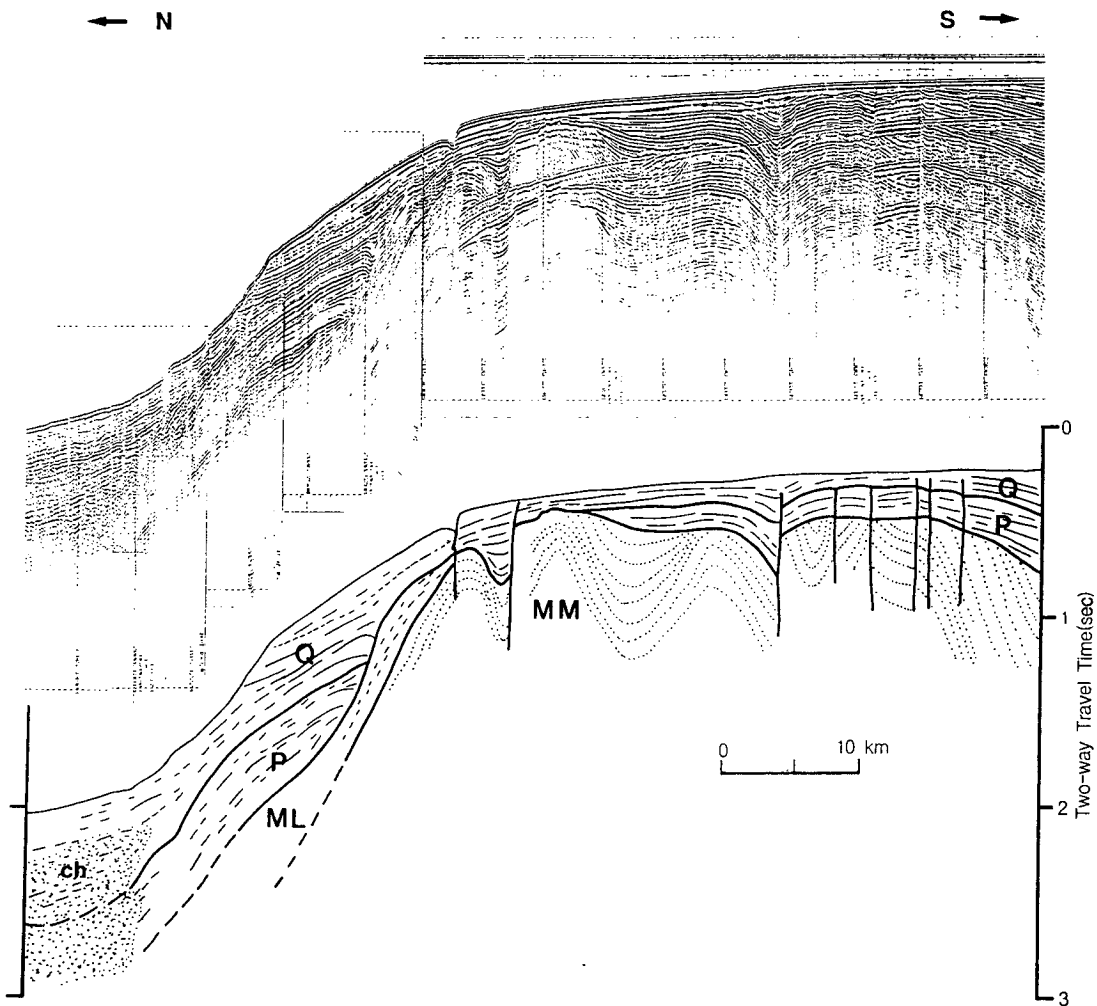


Fig. 17. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing strongly deformed and uplifted Unit MM with faults and folds structures by NNW-SSE compressional regime. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area.

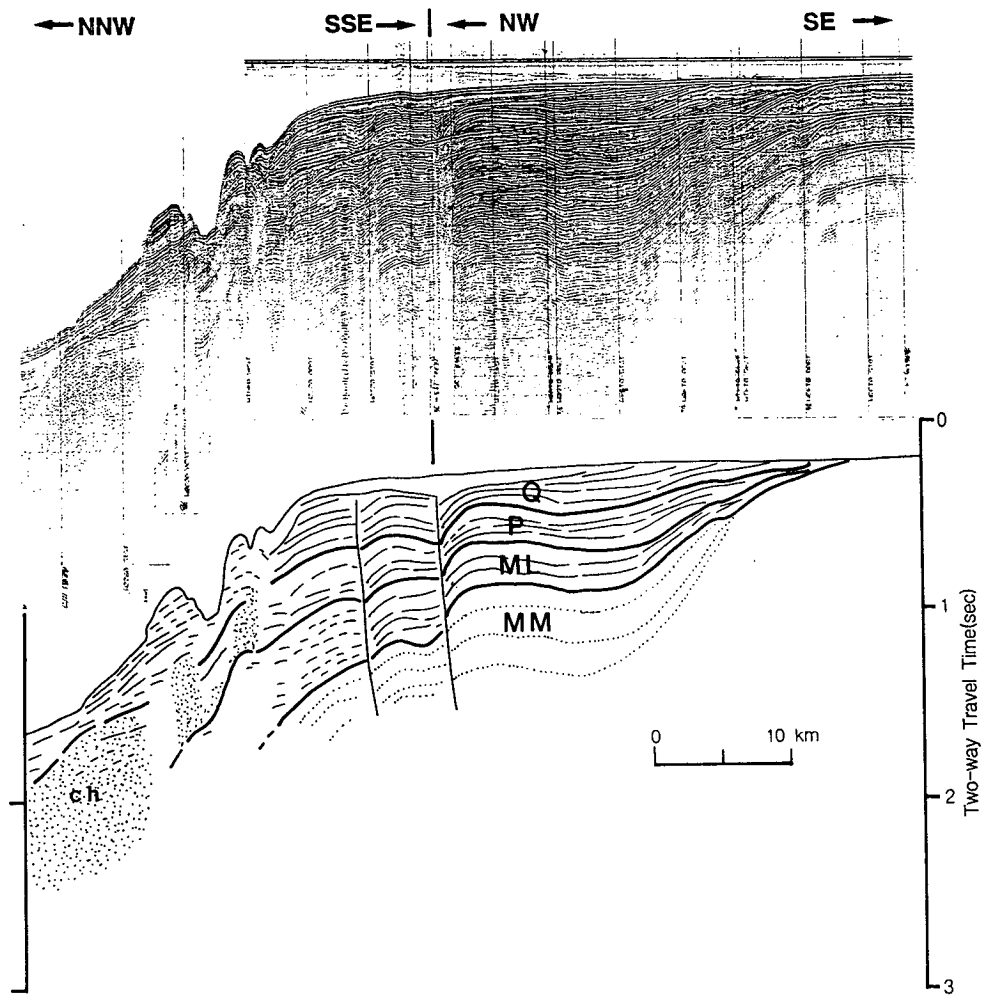


Fig. 18. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing the Tsushima reverse faults that cut through sediment layers from Unit MM to Unit Q.

구조선은 쓰시마 단층구조선(Tsushima Fault)(Inoue, 1982 : Choi & Park, 1985)의 북쪽 연장선으로 해석된다.

#### Unit ML(Late Miocene)의 지질구조

본 Unit는 후기 마이오세 퇴적층으로서 하위 Unit와 부정합관계를 이루면서 퇴적된 지층이다. 지층 변형은 하부 지층에 비해 매우 약하다. Unit ML 상부 구조도에서의 등구조심도(Fig. 19)는 서남일본 근해역의 하위층의 노두지역과 중앙부의 노두지역사이에 트러프가 형성되어 점차 북동방향에서 다시 북쪽방향으로 울릉분지를 향해 3.0 sec 이상 깊어지는 양상을 보인다(Fig. 20). 중앙부 노두의 서측은 북북서쪽을 향해 깊어진다.

단층들은 중앙부 하위층의 노두지역을 경계로 하여 동측지역에 많이 발달해 있다. 단층구조선은 대체로 동-서방향이 우세하게 발달해 있다. 중앙노두지역의 서측지역에 발달한 동-서 방향성의 역단층구조선은 쓰시마 단층선로서 본 지층까지 연장되어 발달해 있다(Fig. 18).

#### Unit P(Pliocene)의 지질구조

본 Unit는 플라이오세 퇴적층에 해당된다. 본 층의 상부 구조도에서의 등구조심도는 중앙부 하위층 노두지역을 경계로 하여 동측 및 서측지역으로 구분 설명된다. 동측지역은 하마다(Hamada) 외해역에서 0.5 sec 내외의 함몰지역이 북동-남서방향으로 발달해 있으며, 다시 울릉분지를 향해 북북서방향으로 점차 깊어지는 트러프가 발달해 있다. 등구조심도는 2.5 sec 이상의 깊이를 보인다. 한편 서측지역의 등구조심도(Fig. 21)는 북북서방향으로 점차 깊어지는 경향을 보인다.

단층구조선의 발달양상은 대체로 동-서방향이 전지역에 걸쳐 우세하게 분포하며, 일부지역에 북동-남서방향성의 구조선을 갖은 단층들이 발달해 있다. 연

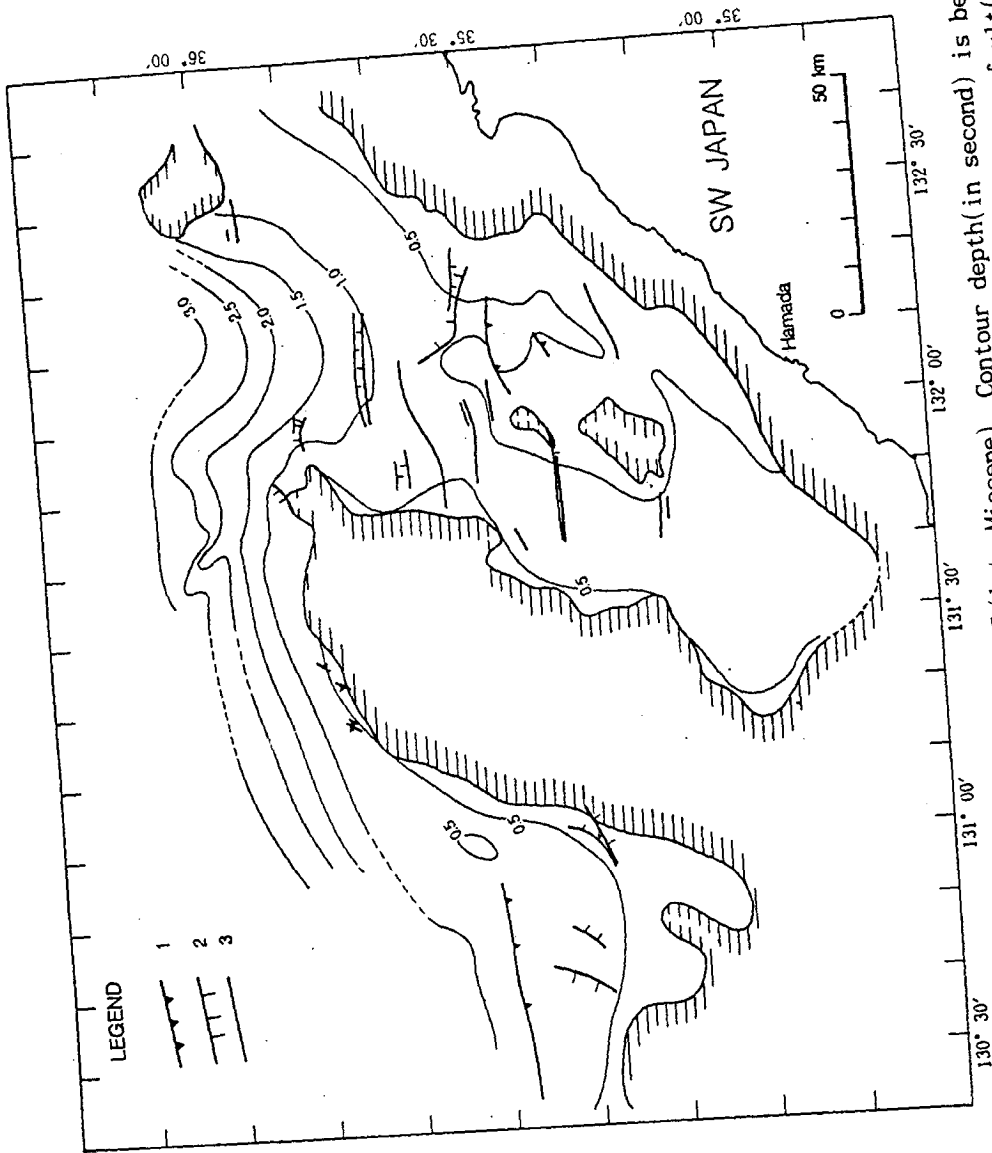


Fig. 19. Time structural map of the top Unit ML (late Miocene). Contour depth (in second) is below present sea level. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit ML. 1=reverse fault (sawtooth on upthrown side); 2=normal fault (bar on downthrown side); 3=fault (type uncertain).

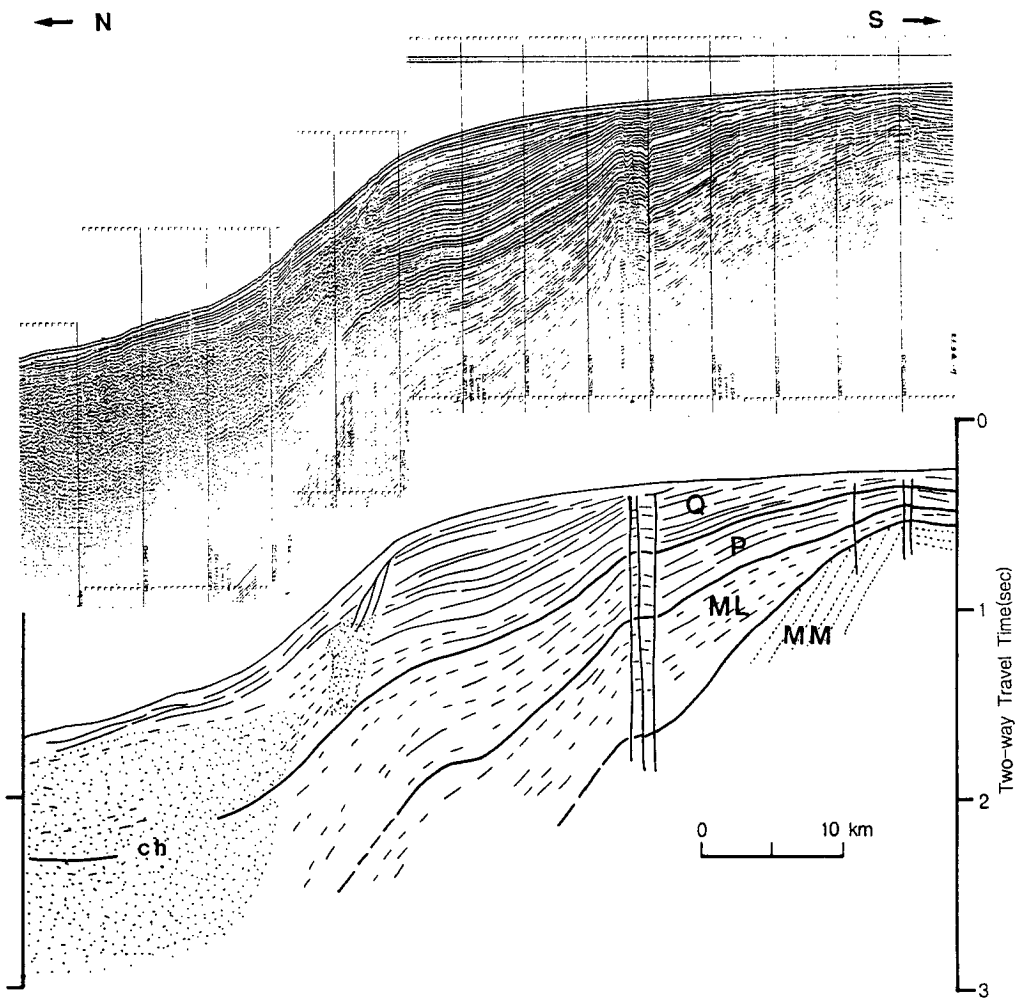


Fig. 20. An example of single-channel seismic profile with interpreted section shows that each sequence boundaries deepens from south to north toward the Ulleung Basin. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area.



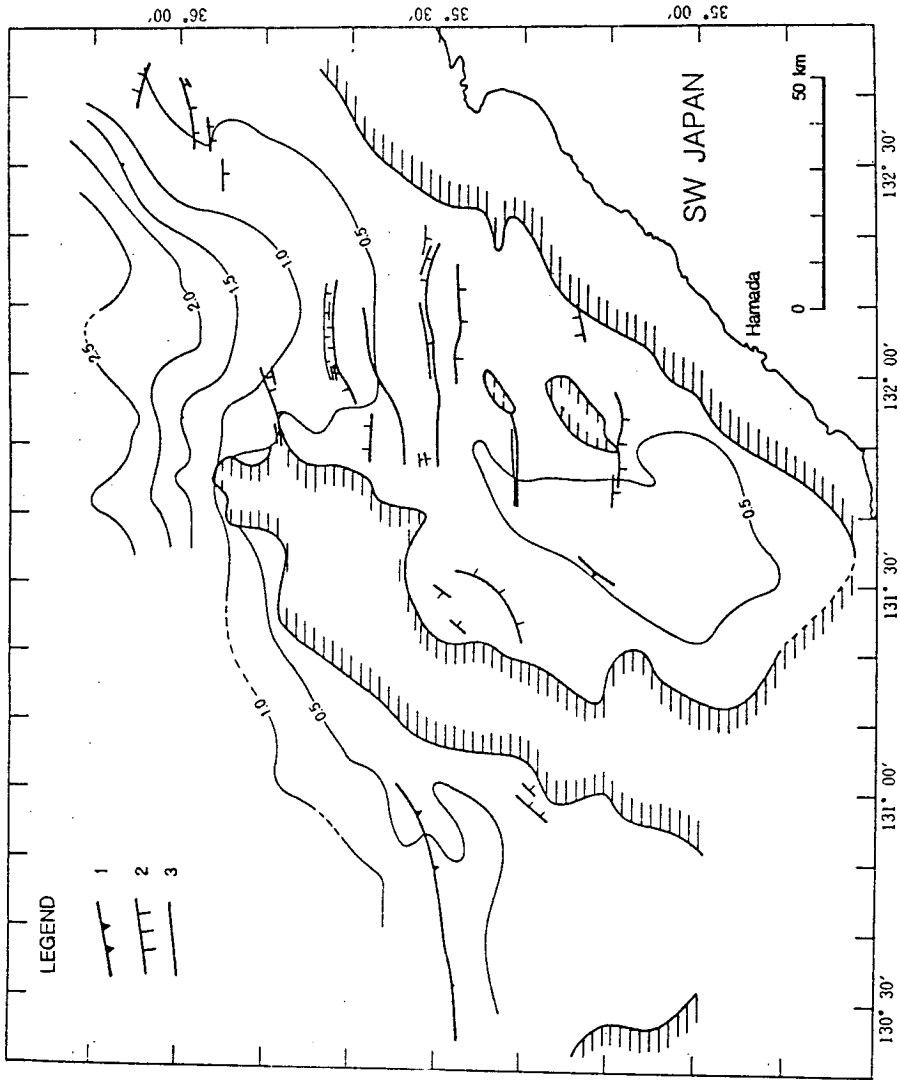


Fig. 21. Time structural map of the top Unit P(Pliocene). Contour depth(in second) is below present sea level. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit P. 1=reverse fault(sawteeth on upthrown side) ; 2=normal fault(bar on downthrown side) ; 3=fault(type uncertain).

구지역 서측에 발달한 동-서 방향성의 역단층구조선은 쓰시마 단층선이 이 지층까지 발달한 것이다(Fig. 18 ).

#### Unit Q(Quaternary)의 지질구조

제4기 지층에 해당되는 최상부 Unit이다. 본 지층의 구조 발달양상은 대륙붕지역에서의 단층구조들과 대륙사면의 표층부에서 주로 발달한 사퇴흔적구조(slump scars)들로 특징된다(Fig. 22 ). 단층구조선들은 주로 동-서방향으로 발달양상을 보이며 분포한다. 그러나 몇개의 단층구조선은 북동-남서방향으로 발달해 있다. 특히 연구지역 서측에는 한개의 동-서방향성 구조선이 발달해 있으며, 쓰시마 단층선의 일부이다(Fig. 18 ). 단층의 종류는 불확실하나 본 Unit까지 연장, 발달하면서 지층이 변위(offsets)된 것으로 추정된다. 위도 35° 50' 이북지역의 대륙사면지역 해저면에는 사퇴흔적구조가 매우 잘 발달되어 있다. 또한 해저면 하부에 상부 퇴적층에 의해 덮인 잔존의 사퇴흔적구조도 잘 나타나고 있다(Fig. 23 ).

## 제 2 절 탄성과 퇴적층서 해석

#### Unit MM(middle Miocene or older) 퇴적층서

본 Unit는 중기 마이오세 및 이하의 고기 퇴적층으로서 지질구조편에서도 언급하였지만 지층의 구조적 변형을 매우 심하게 받아 내부 탄성과 퇴적층서해석이 거의 불가능하였다. 따라서 이 지역에 대해 Minami(1979)와 Itoh et al.(1992)에 의해 발표된 자료를 이용하였다. 반사층리양상은 하부층에서 무층리, 상부층에서 연속적 반사층리보인다. 퇴적환경은 남서부의 천해환경에서 북동쪽으로 가면서 심해환경으로 발달한다(Minami, 1979; Fig. 10 참조). 퇴적물의 이동양상도 남서에서 북동쪽으로 공급되며 또한 퇴적층의 두께도 북동지역에 집

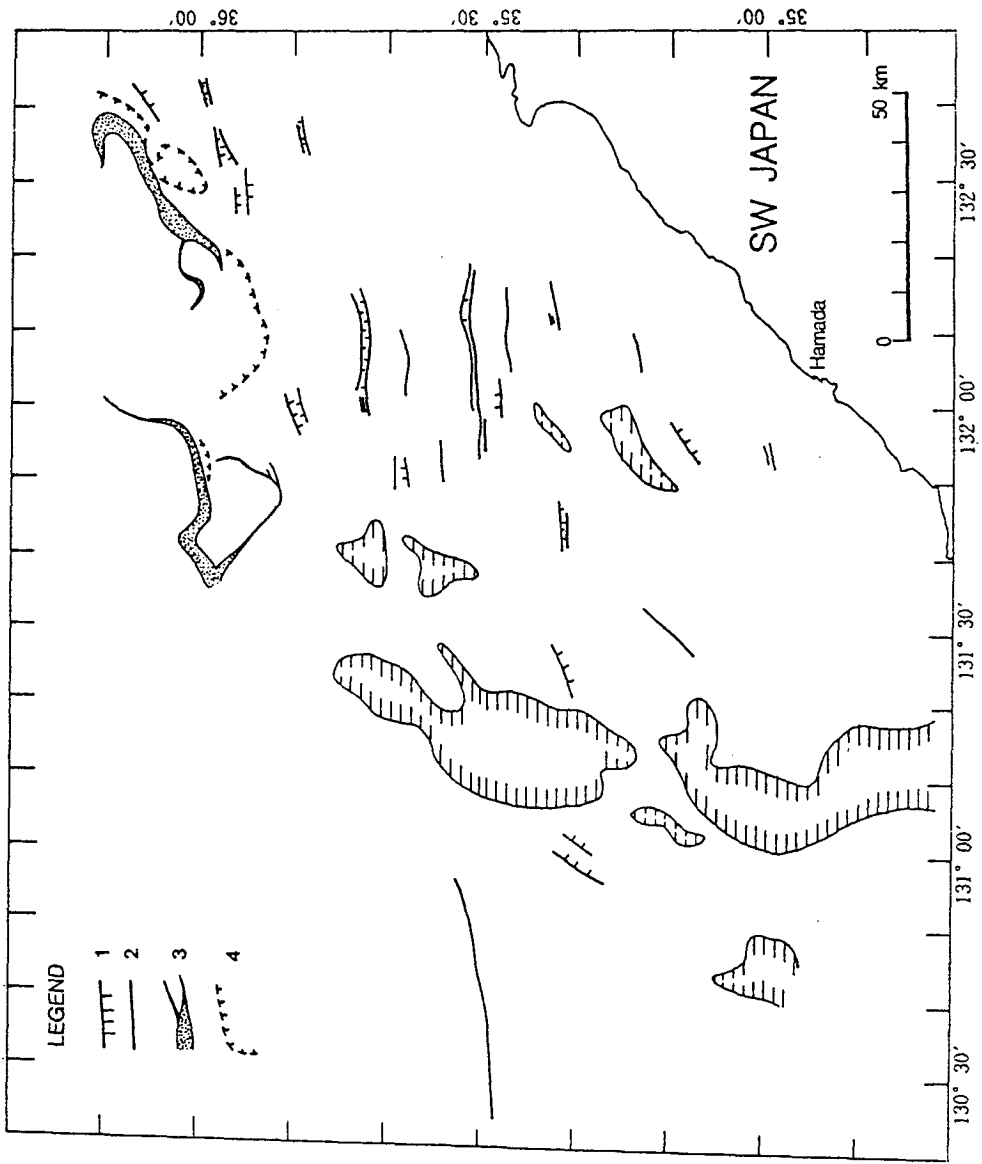


Fig. 22. Time structural map of the Unit Q (Quaternary). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit Q. 1=normal fault(bar on downthrown side) ; 2=fault(type uncertain) ; 3=fault scarp on seabottom ; 4=fault scarp buried by sediments.

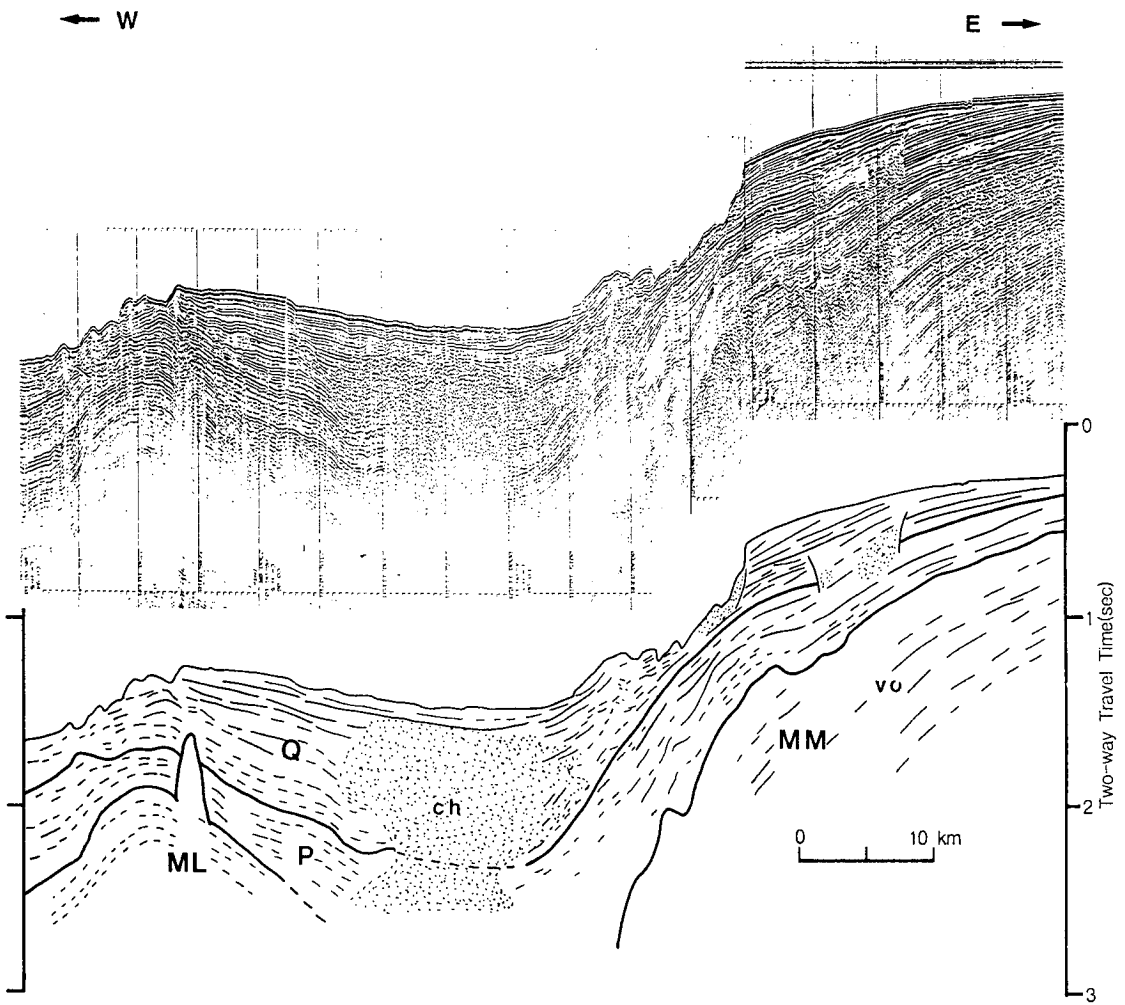


Fig. 23. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showing fault scarps on the sea bottom and buried fault scarps in Unit Q. Note that mass flow sediments showing chaotic seismic facies(ch) occur in lower slope area and intruded volcanic (vo) appears in Unit MM. Mounded form is also shown in Unit ML.

중되어 분포한다(Minami, 1979; Fig. 11 참조). 본 지층은 심한 지층변형과 함께 침식작용을 받아 상부 Unit 와 경사 부정합면으로 뚜렷이 구분된다.

#### Unit ML(Late Miocene) 퇴적층서

후기 마이오세 층에 해당되며, 주로 육성 및 연안성 천해퇴적물인 사암과 니암으로 보고되었다(Minami, 1979). 상부 지층과는 대부분 지역에서 정합적 관계로서 경계된다. 반사층리특성은 비교적 불연속성 반사층리가 대륙붕 및 상부 대륙사면 대부분 지역에 분포하며, 연속성이 상대적으로 좋은 반사층리도 북동지역에 발달해 있다(Fig. 24 ). 불연속성 반사층리가 나타나는 지역은 중앙 융기부 주변에 발달하고 있으며 퇴적물의 구성은 주로 융기부 고지대에서 침식되어 유입된 퇴적물로 해석된다. Minami(1979)의 중기 마이오세 및 이전의 고환경 해석에 의하면 중앙 융기부지역은 주로 천해의 대륙붕과 상부 대륙사면 환경으로서 쇄설퇴적물과 세립퇴적물이 혼재되어 발달했을 것으로 사료되며, 이들 퇴적물이 침식, 유입되면서 불연속 반사층리로 나타나는 것으로 해석된다. 북동지역의 연속 반사층리는 중기 마이오세의 대륙사면환경으로서 대륙사면에 발달한 세립질 퇴적물과 오키 제도주변의 화산성 쇄설물이 서로 교호하면서 쌓인 퇴적층이 나타나는 양상으로 해석된다. Unit ML 퇴적층은 하부지층에 온랭된다. 무층리 퇴적상 퇴적층이 하부 대륙사면에 발달해 있으며, 또한 둔덕형 외형도 발달해 있다(Fig. 23 ). 이들 퇴적물은 주로 세립질의 니암으로 구성된 것으로 사료되며, 둔덕 외형은 사면을 따라 발생한 사태 및 합몰 운동으로 부터 질량류 퇴적물이 집적되어 나타난 결과로 해석된다(Sangree & Widmier, 1979). 연구해역 북동쪽에 둔덕형 화산관입체가 분포하고 있다(Fig. 25 ). 바로 동쪽 옆은 오키 섬이 위치하고 있어 주로 마이오세 화산암으로 구성된 오키섬의 기저 연장부로 해석된다(Choi, 1991). 퇴적층의 발달양상은 중앙부의 하위층 노두지역을 중심으로 북동 내지 북서방향을 향해 두꺼워진다(Fig. 26 ).

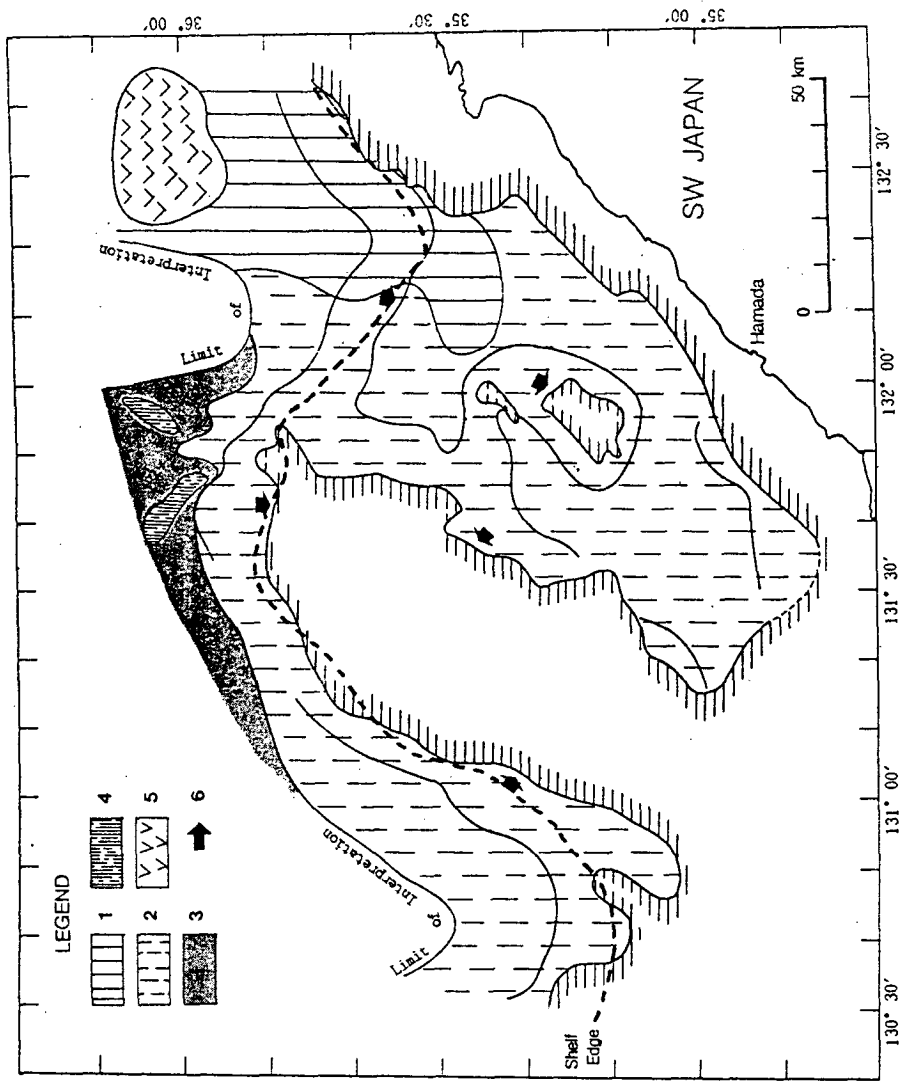


Fig. 24. Seismic facies map of Unit ML (late Miocene). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit ML. 1=continuous reflection pattern ; 2=discontinuous reflection pattern ; 3=reflection-free pattern ; 4=mounded form ; 5=intrusive volcanics ; 6=base onlap.

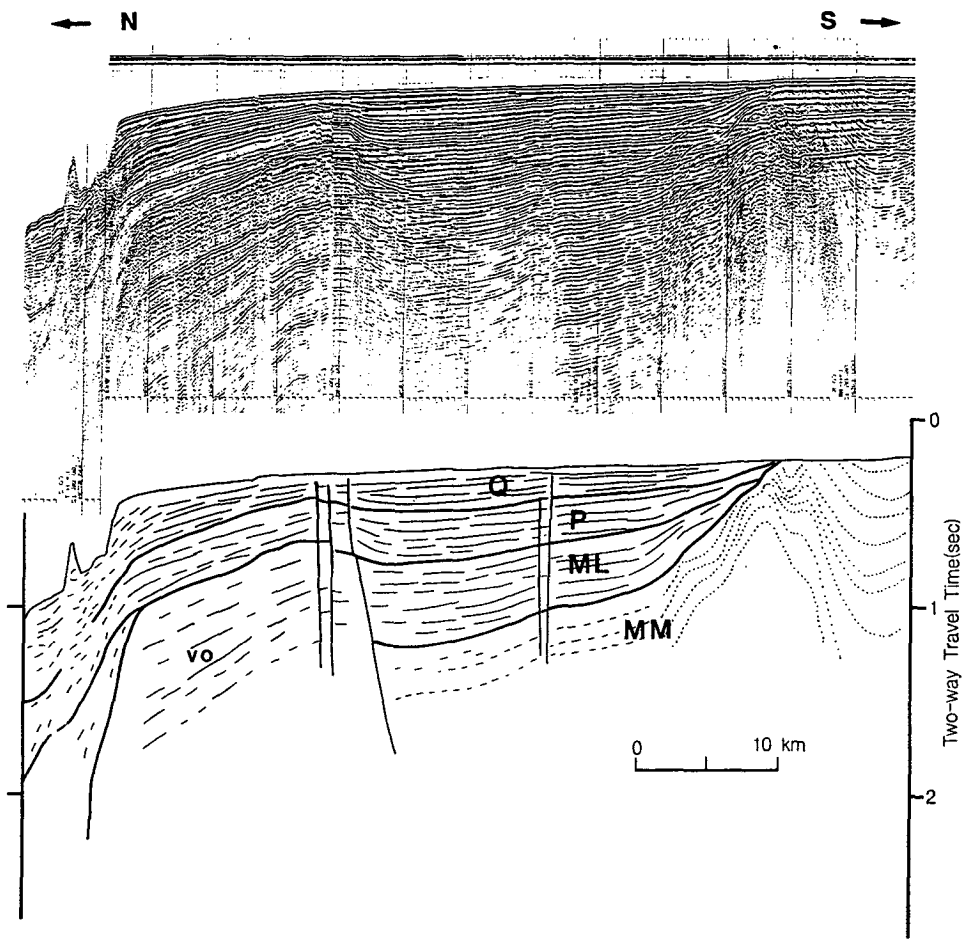


Fig. 25. An example of single-channel seismic profile with interpreted section showings fault scarps on the sea bottom and intruded volcanic (vo) in Unit MM.

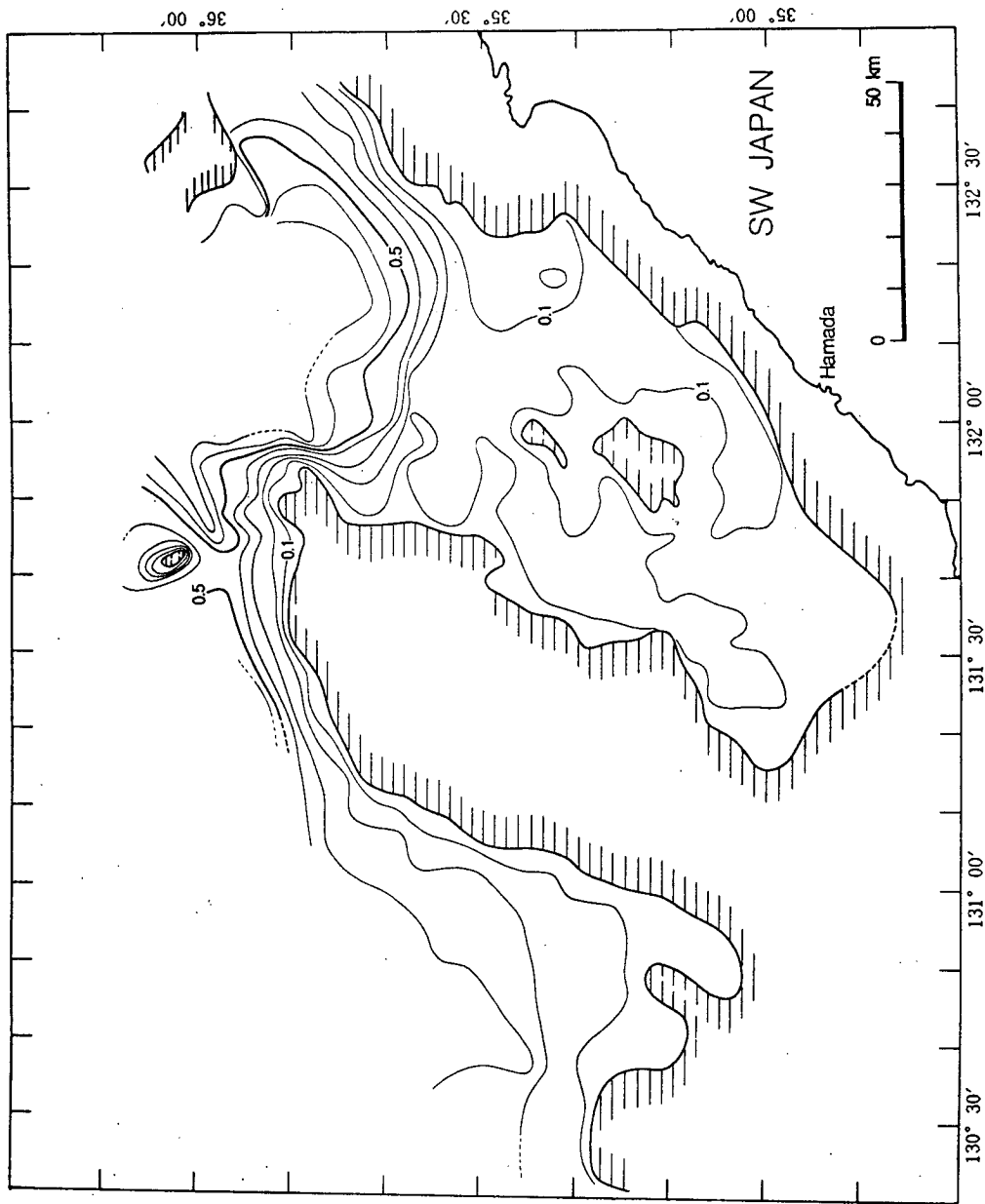


Fig. 26. Sediment thickness map of Unit ML (late Miocene). Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit ML.



#### Unit P(Pliocene) 퇴적층서

플라이오세 퇴적층으로서 대부분의 지역에는 천해성 쇄설물이 분포하고 있다(Minami, 1979 ; Inoue, 1982). 상부층과는 정합적 관계로 경계되며, 하위층에 대해서는 온랭양상을 나타낸다. 대륙붕지역에서의 반사층리양상은 비교적 연속성이 좋은 반사층리를 보이고 있어 천해성 쇄설퇴적물인 사암과 니암이 교호되어 분포하고 있는 것으로 해석된다(Fig. 27 ). 대륙붕단을 넘어 대륙사면지역에서는 반사층리의 연속성이 좋지 않는데, 그 이유는 대륙사면에서의 구성 퇴적물은 주로 세립질의 니암과 일부 사암이 협재된 결과로 생각된다. 대륙사면 하부에 이르러서는 혼탁 퇴적상이 분포되어 사태 및 함몰운동에 의한 질량류 퇴적물이 이 지역에 집적된 것으로 사료된다(Fig. 20, 23 ). 퇴적층의 두께는 중앙부의 하부층 노출지역을 중심으로 북동 및 북서쪽을 향해 증가되며, 특히 북동쪽에 최대 0.9 sec 의 두께를 보인다(Fig. 28 ).

#### Unit Q(Quaternary) 퇴적층서

Unit Q는 제4기 퇴적층이며, 하위층에 대해 온랭된다. 대륙붕지역에는 비교적 연속성이 양호한 반사층리양상이 분포하며, 대륙붕단을 지나 대륙사면에는 연속성이 비교적 나쁜 반사층리와 혼탁퇴적상이 분포한다(Fig. 29 ). 연속반사층리의 대륙붕지역은 천해성 쇄설퇴적물인 사암과 니암이 교호하면서 분포하는 것으로 해석된다(Minami, 1979 ; Inoue, 1982). 대륙사면에 발달한 약간의 불연속적 반사층리는 주로 니질 퇴적물과 부분적인 사질 퇴적물의 구성되었음을 반영하는 것으로 사료된다. 사면기저부의 혼탁퇴적상은 급사면을 따라 사태 및 함몰에 의한 질량류 퇴적물이 쌓인 결과 해석된다(Fig. 20, 23 ). 탄성파 단면도상에는 천부층에서 단층절벽(fault scarps)의 사태흔적이 잘 발달해 있다(Fig. 17, 23 ). 퇴적층의 두께는 북동지역에 최대 0.8 sec 이상으로 분포한다(Fig. 30 ).

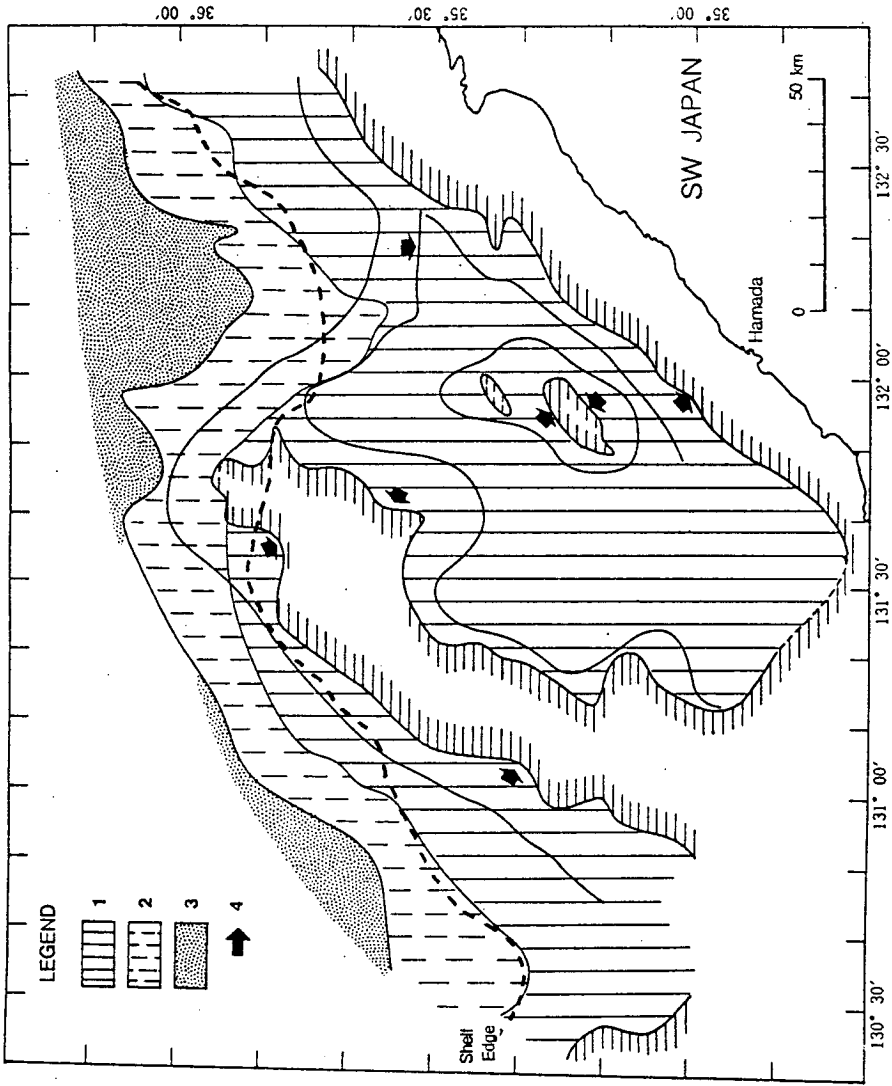


Fig. 27. Seismic facies map of Unit P (Pliocene). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit P. 1=continuous reflection pattern ; 2=discontinuous reflection pattern ; 3=chaotic reflection pattern ; 4=base onlap.

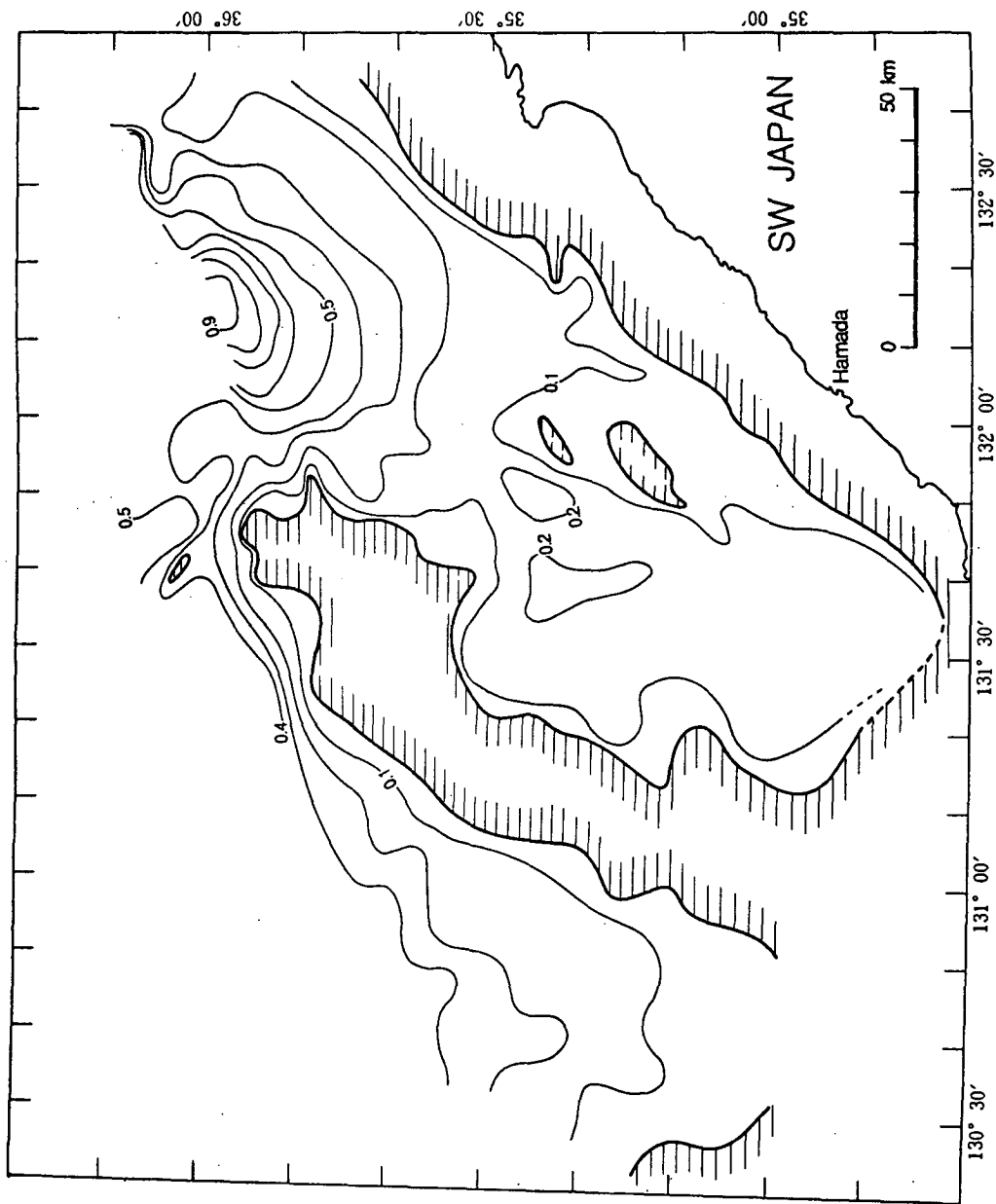


Fig. 28. Sediment thickness map of Unit P (Pliocene). Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit P.

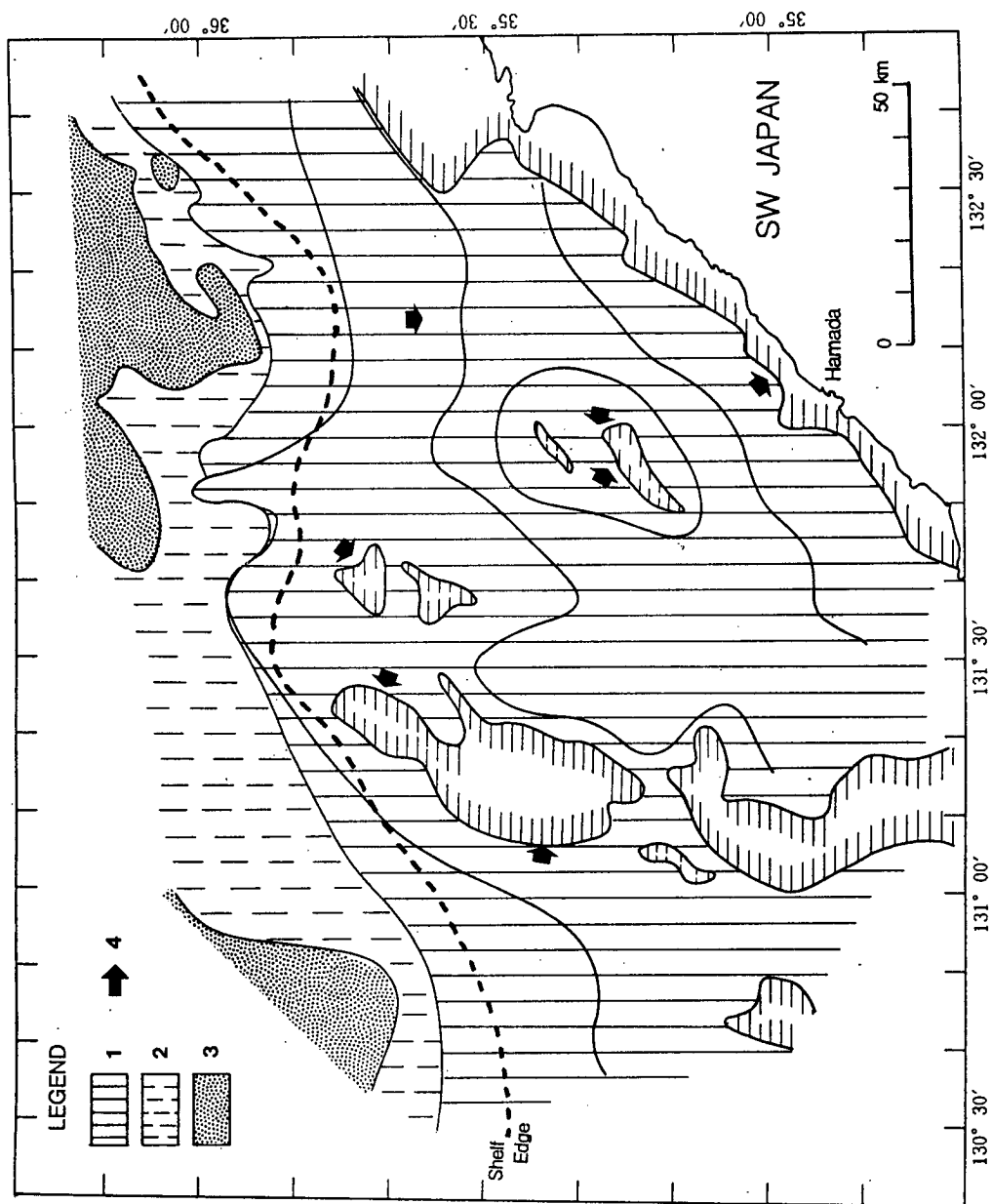


Fig. 29. Seismic facies map of Unit Q(Quaternary). Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit Q. 1=continuous reflection pattern ; 2=discontinuous reflection pattern ; 3=chaotic reflection pattern ; 4=base onlap.

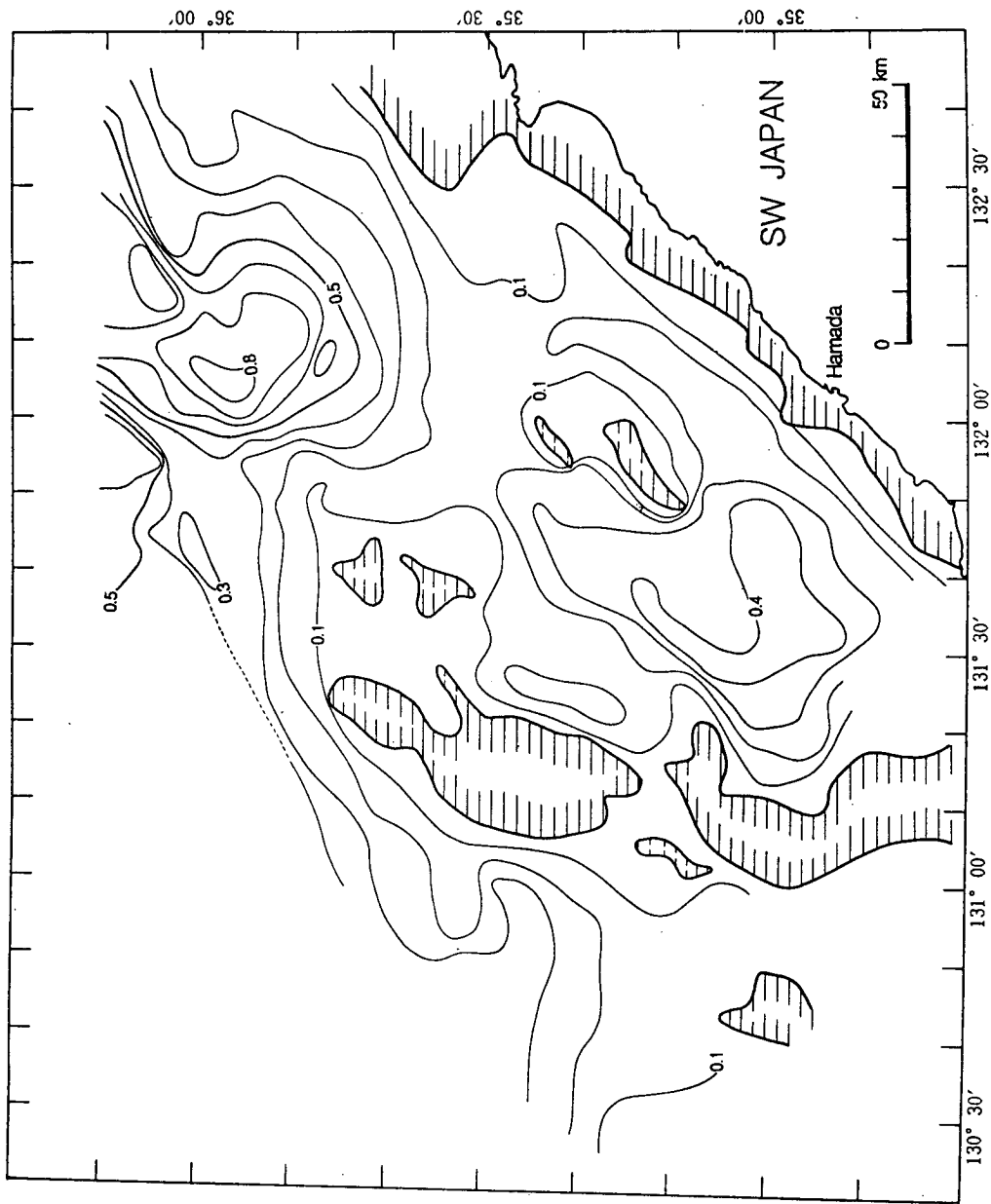


Fig. 30. Sediment thickness map of Unit Q(Quaternary). Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of pre-Unit Q.

## 제 5 장 토 의

### 제 1 절 지질구조

Unit MM(중기 마이오세 및 고기 퇴적층)은 많은 역단층구조와 습곡구조가 분포한다. 횡압력 지체구조운동(compressional tectonics)에 의해 지층의 단축 변형됨으로서 연구지역 서측의 동북동-서남서에서 동측으로 가면서 동-서 방향의 습곡 및 역단층구조 우세하게 발달한 것으로 해석된다(Fig. 15 ). 적어도 후기 마이오세 초까지 활발한 횡압력 작용이 발생한 것으로 사료된다(Minami, 1979). 횡압력은 서쪽 지역의 북서-남동에서 동쪽 지역의 남-북 방향으로 이동하면서 지층을 변형시켰을 것으로 해석된다. 연구지역 서쪽에 위치하는 쓰시마 단층대는 쓰시마 섬의 서측을 따라 북북동-남남서 방향으로 발달한 주 단층 구조선의 북쪽 연장선의 일부이다(Fig. 18 ). 초기 쓰시마 단층대는 동해 형성(opening)과 관련하여 고제3기에 우수주향이동단층으로 해석되어 왔다(Sillitoe, 1977 ; Lallemand & Jolivet, 1986 ; Jolivet et al., 1991) . 반면 중기 마이오세에 들어와서는 쓰시마 단층대가 좌수주향이동단층으로 변화하였음을 다음의 연구결과로 알 수 있다. 즉 쓰시마 섬의 고지자기 연구결과에 의하면 중기 마이오세에 반시계방향의 회전운동이 일어났으며, 이는 쓰시마 단층대의 좌수 주향이동과 함께 압축력이 작용한 것으로 해석했다(Ishikawa & Tagami, 1991). 또한 올리고세에서 전기 마이오세까지의 두꺼운 해성층(Taishu Group)으로 구성된 쓰시마 섬에서의 주로 북동-남서 방향의 습곡 축은 쓰시마 단층대의 좌수 주향이동에 의한 en echelon fold 로 해석하였다(Inoue, 1982). 그러나 Park(1991)은 한국해협에서 발달한 쓰시마 단층대의 일부분을 PDZ(principal displacement zone)으로 해석하여 제4기까지 우수주향이동을 한다고 주장하였다. 제4기까지의 우수주향이동의 해석은 단지 전체 쓰시마 단층대의 북쪽 일부분에 지나지 않은 좁은 지역에

서 다중채널탄성과 단면도를 해석하여 작성된 지질구조도와 Harding(1974)의 dextral simple shear couple 모델과의 상호비교에 의한 결과로서, 해석에 있어서 약간의 무리가 있다고 생각된다. 하지만 쓰시마 단층대는 주향 이동을 하는 shear 지대임이 이상의 연구결과로 확인된다.

서남 일본에 발달한 습곡 및 bending의 지질구조의 발달 양상과 고지자기 측정결과는 중기 마이오세에 서남 일본열도의 시계방향 회전운동지체구조운동이 일어났음을 지시한다(Faure & Lalevee, 1987 ; Murata, 1987 ; Otofujii & Matsuda, 1987 ; Kano et al., 1990 ; Otofujii, 1991). 이는 서남 일본지괴는 강한 단일지괴보다는 연성(ductile)의 비교적 연약한 지괴(non-rigid)로서 외부의 힘에 의해 쉽게 변형됨을 시사하고 있다(Itoh, 1988). 따라서 서남 일본 열도의 동해 형성과 관련한 시계방향 회전운동은 서남 일본의 남서쪽 지괴가 북서쪽으로 이동하면서 쓰시마 해협지역에 대해 압축력이 작용하였을 것이고, 반면 서남 일본의 북동쪽 지괴는 남동방향으로 이동하면서 울릉분지 심해지역의 확장이 일어났을 것으로 해석된다(Hayashida et al., 1991 ; Ishikawa & Tagami, 1991). 중기 마이오세에 서남 일본의 남서쪽 지괴가 북서쪽으로의 이동은 쓰시마 해협지역에 분포하는 퇴적층에 대해 압축력이 작용하였을 것이며, 이는 Unit MM(중기 마이오세 및 고기 퇴적층)의 지층변형을 야기시켰다. 이때 쓰시마 단층대는 좌수의 transpressional strike-slip 운동을 하였을 것으로 추측된다. 서남 일본의 고지자기 연구결과는 중기 마이오세때 서남 일본과 노히 지역의 회전운동은 약간의 차이를 보였으며, 이는 지괴의 plastic bending에 의한 differential rotation을 시사한다(Itoh, 1988). 일본 열도의 differential rotation은 연구지역의 서측에 발달한 동북동-서남서 방향에서 동측의 동-서 방향으로 지질구조선 변화 원인의 좋은 설명이 될 수 있다.

하부층(Unit MM)과 뚜렷한 경사 부정합 관계를 이루며 후기 마이오세 이후 제4기 퇴적층이 발달해 있다. 후기 마이오세 퇴적층은 하부 지층과 비교하면 거

의 변형을 받지 않았으나, 단층구조가 발달분포한다. 단층구조선의 발달방향은 주로 동-서방향으로 이는 남-북 방향으로의 압축응력장이 우세함을 시사하고 있다. 플라이오세 및 제4기 층에서도 거의 유사한 동-서 방향의 단층 구조선으로부터 남-북 방향의 지체구조적 힘의 영향을 받은 것으로 사료된다. 특히 쓰시마 단층구조선은 후기 마이오세뿐만 아니라 플라이오세와 제4기 퇴적층까지 발달한다. 따라서 쓰시마 단층대는 제4기까지도 압축의 지체구조적 운동의 영향을 받은 것으로 판단된다(Fig. 18 ). 이 밖에 연구지역 동쪽에 위치하는 화산용기지역에도 후기 마이오세에서 제4기 층까지 단층이 발달하고 있어 화산암이 약간씩 용기하면서 최상부 제4기 지층까지 영향을 미치는 것으로 생각된다(Fig. 25 ). 제4기 지질구조도에서 대륙사면에 단층절벽(fault scarps)이 분포한다. 단층절벽 구조는 천부 퇴적층이 사면을 따라 사태 및 함몰에 의해 떨어져 나간 자국이다. 단층절벽의 발달지역은 중앙용기대 북쪽 전면부와 동쪽 화산용기 지역을 중심으로 분포해 있어(Fig. 22 ), 현재에도 이들 용기대의 활발한 지체구조운동을 반영하는 것으로 해석된다.

## 제 2 절 퇴적환경

최하부 지층인 Unit MM(중기 마이오세 및 고기층)은 지층의 강한 구조적 변형을 받았고, 그 위에 뚜렷한 부정합 관계를 이루며 Unit ML이 온갓되면서 쌓여 있다. 이는 Unit MM이 강한 압축력에 의한 용기 및 침강운동 등 지질구조의 단층변형된 후 해침과정에 의한 침식작용이 발생하였으며, 다시 상위 퇴적층이 쌓이면서 부정합관계를 이룬 것으로 해석된다. 대륙붕지역은 중앙 용기부 주변의 불연속 반사층리 양상이 그리고 동쪽 지역에는 연속 반사층리의 퇴적층이 지역을 달리하면서 분포하고 있다. 퇴적물은 주로 용기지역의 침식작용에 의해 공급될 것으로 추정된다. 중앙 용기부 구성물질은 후기 마이오세 이전의 대륙사면환경



하에서 쌓인 퇴적물로서(Minami, 1979), 이들 세립질의 사면 퇴적물이 침식작용에 의해서 중앙 융기대 주변에 공급되었을 것이다. 융기부에서의 세립퇴적물과 주변의 조립질 퇴적물의 혼합은 불연속 반사층리 퇴적상의 원인일 것으로 해석된다. 또한 동쪽의 연속반사층리 양상은 오끼제도주변에서 공급된 화산성 쇄설물과 세립퇴적물의 교호층을 이룬 결과로 해석된다. 대륙붕단을 넘어 대륙사면의 무층리 퇴적상은 주로 균일한 반 심해성 니암에 의한 것으로 사료되며, 사면 기저부의 둔덕 외형은 사퇴 및 함몰에 의한 질량류 퇴적물의 집적에 의한 것으로 해석된다(Fig. 23). Unit P(플라이오세)와 Unit Q(제4기)의 퇴적층서 발달양상은 매우 유사하다. 특히 플라이오세이후 사면기저부에는 질량류 퇴적작용이 매우 활발하였음을 의미하는 혼탁퇴적상이 매우 잘 나타난다. 혼탁 퇴적상의 분포 지역이 플라이오세에서 제4기로 가면서 점차 북쪽으로 이동하고 있어, 퇴적물의 이동이 점차 북쪽으로 향하고 있음을 짐작케 한다.

각 Unit의 대륙붕단의 이동방향은 중앙 융기대를 중심으로 서측은 북서 방향으로 동측은 북쪽으로 서서히 북상하고 있다. 이는 남쪽지역에서 공급된 퇴적물이 중앙 융기부를 중심으로 북서 내지 북쪽 방향으로 이동하여 궁극적으로 울릉분지 심해에 퇴적된다. 중기 마이오세때의 퇴적물 공급은 주로 남서에서 북동 방향으로 이루어졌다(Minami, 1979). 중기 마이오세의 퇴적물 이동방향과 그 이후 퇴적물의 이동 방향과의 차이는 중기 마이오세 및 고기 퇴적층이 심한 지층변형을 받아 연구해역 중앙부에 융기대를 형성하면서 이 융기대가 후기 마이오세 이후 퇴적물 공급에 영향을 주었기 때문으로 해석된다. Fig. 31은 후기 마이오세에서 제4기까지의 총 퇴적두께도로서 중앙 융기대를 중심으로 서측 지역은 북서쪽으로 동측 지역은 트러프에 두껍게 쌓여있다.

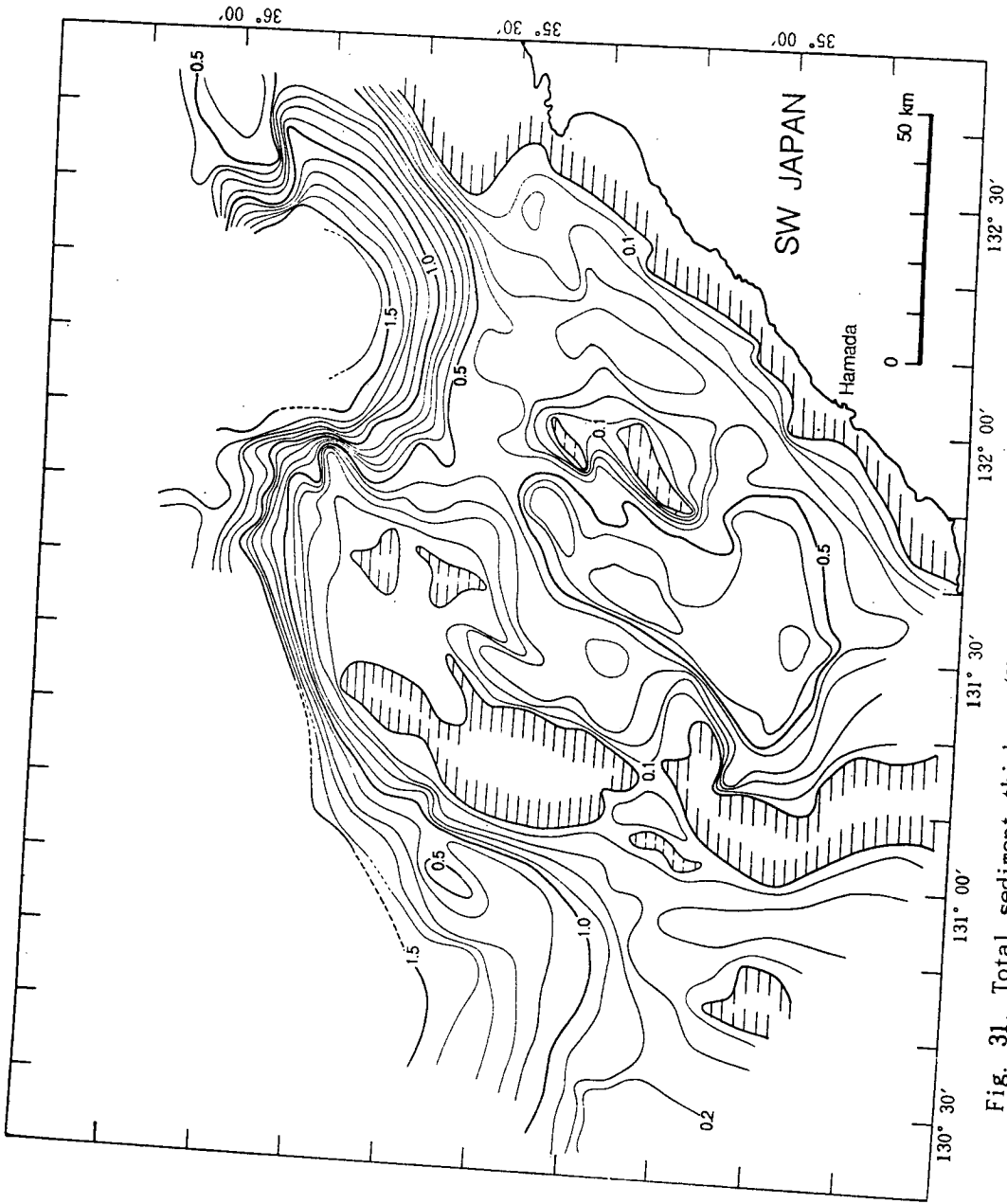


Fig. 31. Total sediment thickness(Unit ML to Unit Q) map. Contours are in seconds. Note that hatched areas indicate outcrops of Unit MM.

## 제 6 장 결 론

1) 연구해역인 울릉분지 남동해역에서 단채널 에어건 탄성과 단면자료를 정밀 분석하여 하부에서 상부로 향하면서 Unit MM, ML, P, 그리고 Q 의 4개 탄성과 층서로 구분하였다. 각 Unit의 연대는 Unit MM-중기 마이오세 이하 퇴적층, Unit ML-후기 마이오세, Unit P-플라이오세, 그리고 Unit Q-제4기로 설정하였다. 탄성과 층서 구분과 연대설정은 연구 해역 및 주변에서의 발표된 다채널 탄성과 단면도, 석유 시추공, 그리고 해저 퇴적물의 지질정보를 상호대비하여 결정하였다.

2) 중기 마이오세 이하 퇴적층(Unit MM)은 매우 강한 지층변형을 받아 역단층 및 습곡구조가 다수 발달해 있다. 단층구조선과 습곡축의 발달방향은 동북동-서남서 및 동-서 방향이 우세하며, 대체로 북북서-남남동 및 남-북 방향으로의 강한 횡압력에 의한 결과로 해석된다. 반면 후기 마이오세 이후 제4기 지층은 지층 변형이 거의 없으나 동-서 방향성의 단층구조선이 우세하게 발달해 있다.

3) 강한 지층변형을 받은 중기 마이오세 이하 층(Unit MM)과 뚜렷한 경사 부정합 경계를 이루며 후기 마이오세(Unit ML) 이후 퇴적층이 온갓되어 분포한다. 후기 마이오세 이후 퇴적층은 대체로 남쪽의 대륙붕지역에서 북쪽의 울릉분지 심해를 향해 서서히 두꺼워지는 양상을 보인다. 특히 심해분지로의 퇴적물은 공급은 대륙사면을 따라 활발한 질량류 퇴적작용에 의한 것으로 판단된다.

4) 중기 마이오세 이하 퇴적층의 강한 지층변형은 중기 마이오세 말이나 후기 마이오세 초 동안에 서남 일본지괴가 시계방향의 회전운동을 하면서 연구해역을 포함하는 쓰시마 해협내 퇴적층에 대해서 북서-남동 방향의 압축 지체구조운동의 결과로 해석된다. 이때 쓰시마 단층대는 좌수의 transpressional strike-slip 운동을 하였을 것으로 추측한다. 중기 마이오세 이후의 지체구조운동은 미약하게 남-북 방향의 압축력을 받았으며, 쓰시마 단층대는 제4기 까지도 활동적인 횡압력 구조대로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 연구책임자가 1991년도에 일본 JICA 연수생의 자격으로 일본 지질 조사소에서 연구 수행 중 사용하였던 자료의 일부를 이용하여 수행되었다. 자료 이용을 허락해 주신 일본 지질조사소 해양지질부 부장 및 부원들께 감사드리며, 특별히 Satoh 씨와 Tanahashi 씨에게 거듭 깊은 사의를 표한다.

## 참 고 문 헌

- Arita M., Y.Okuda, & T.Moritani(eds.), 1987. Report on the marine geology of continental shelf arround southwest Japan - Hinomisaki-Tottorioki regions -. Geol.Surv.Japan, 233p.
- Barg,E., 1986. Cenozoic geohistory of the southwestern margin of the Ulleung Basin, East Sea. Ms. thesis, Seoul National Univ., 174p.
- Choi,D.L., 1991. Analysis of geological structure off San-in, Japan Sea. Tech.Rept., JICA. p.57-74.
- Choi,H.I. & K.S.Park, 1985. Cretaceous/Neogene stratigraphic transition and post-Gyeongsang tectonic evolution along and off the southeast coast,Korea. Jour.Geol.Soc.Korea, v.21(4), p.281-296.
- Faure,M. & F.Lalevee, 1987. Bent structural trends of Japan: Flexural-slip folding related to the Neogene opening of the Sea of Japan. Geology, v.15, p.49-52.
- Geological Survey of Japan, 1992. Geological map of Japan. 1:1,000,000 (3rd Ed).
- Harding,T.P., 1974. Petroleum traps associated with wrench faults. Bull.Am.Ass.Petrol.Geol., v.58, p.1290-1304.
- Hayashida,A.,T.Fukui, & M.Torii, 1991. Paleomagnetism of the early Miocene Kani Group in Southwest Japan and its implication for the opening of opening of the Japan Sea. Geophys.Resear.Letters, v.18(6), p.1095-1098.
- Honza,E.(ed.), 1978. Geologic investigations in the northern margin of the Okinawa Trough and the western margin of the Japan Sea, GH 77-2 cruise. Cruise Rept. no.10, Geol.Surv.Japan, 79p.

- Honza, E., K. Tamaki, M. Yuasa, & F. Murakami, 1979. Geological map of the southern Japan Sea and Tsushima Strait, Marine geologic map series 13. 1:1,000,000, Geol. Surv. Japan.
- Inoue, E., 1982. Geological problems on Cretaceous and Tertiary rocks in and around Tsushima-Korea Straits. U.N. ESCAP, CCOP Tech. Bull., v.15, p.85-121.
- Ishikawa, N. & T. Tagami, 1991. Paleomagnetism and fission-track geochronology on the Goto and Tsushima Islands in the Tsushima Strait area : Implications for the opening mode of the Japan Sea. Jour. Geomag. Geoelectr., v. 43, p. 229-253.
- Itoh, Y., 1988. Differential rotation of the eastern part of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of Cretaceous and Neogene rocks. J. Geophys. Resear., v. 93(B4), p. 3401-3411.
- Itoh, Y., Y. Nagasaki, & Y. Ishii, 1992. Geohistory of the San-in and Kita-Kyushu areas inferred from seismic studies. Jour. Japanese Assoc. Petrol. Tech., v. 57(1), p. 53-58.
- Jolivet, L., P. Huchon, & J. P. Brun, 1991. Arc deformation and marginal basin opening: Japan Sea as a case study. Jour. Geophys. Resear., v. 96(B3), p. 4367-4384.
- Kano, K., H. Kato, Y. Yanagisawa, & F. Yoshida(eds.), 1991. Stratigraphy and geologic history of the Cenozoic of Japan. Rept no. 274, Geol. Surv. Japan, 114p.
- Kano, K., K. Kosaka, A. Murata, & S. Yanai, 1990. Intra-arc deformation with vertical rotation axes : the case of the pre-middle Miocene terranes of southwest Japan. Tectonophysics, v. 176, p. 333-354.

- Lallemand, S. & L. Jolivet, 1986. Japan Sea: a pull-apart basin? *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 76, p. 375-389.
- Minami, A., 1979. Distribution and characteristics of the sedimentary basin offshore San-in to Tsushima island. *J. Japanese Assoc. Petrol. Tech.*, v. 44(5), p. 321-328.
- Nagano, M., K. Tamaki, & T. Moritani (eds.), 1986, Report on the marine geology of continental shelf around southwest Japan - Hibikina-Mishimaoki regions -. *Geol. Surv. Japan*, 192p.
- Murata, A., 1987. Conical folds in the Hitoyoshi bending, south Kyushu, formed by the clockwise rotation of the southwest Japan Arc. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 93, p. 91-105.
- Otofuji, Y. & T. Itaya, & T. Matsuda, 1991. Rapid rotation of southwest Japan-paleomagnetism and K-Ar ages of Miocene volcanic rocks of southwest Japan. *Geophys. J. Int.*, v. 105, p. 397-405.
- Otofuji, Y. & T. Matsuda, 1987. Amount of clockwise rotation of Southwest Japan-fan shape opening of the southwestern part of the Japan Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 85, p. 289-301.
- Park, K.S., 1990. The seismic stratigraphy, structure and hydrocarbon potential of the Korea Strait. Ph.D. thesis, Imperial College. 441p.
- Sangree, J.B. & J.M. Widmier, 1979. Interpretation of depositional facies from seismic data. *Geophysics*, v. 44(2), p. 131-160.
- Sillitoe, R.H., 1977. Metallogeny of Andean-type continental margin in south Korea : Implications for opening of the Japan Sea. In : Talwani, M. & Pitman, W.C., III, eds., *Island arcs, deep-sea trenches and back arc basins : American Geophysical Union Maurice Ewing Series 1*, p. 303-310.

- Tamaki, K., M. Yuasa, & F. Murakami, 1982. Geologic map of Oki Strait, Marine geologic map series 20, 1:200,000, Geol. Surv. Japan.
- Tanaka, K. & T. Nozawa (eds.), 1977. Geology and mineral resources of Japan, v.1, Geology, 3rd ed., Geol. Surv. Japan, 430p.
- Vail, P. R., et al., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level (a series of papers), In: Payton, C. E., ed., Seismic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration. Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 26, p. 49-212.
- Yanai, S., 1989. A horizontal buckle model as a dynamic mechanism for back arc spreading of the Japan Sea. Jour. Geology, v. 97, p. 569-583.