

동해 남서부 해역의
음속최소층에 관한 연구

A study on the sound speed minimum layer
in the south-west of East Sea

1995. 6.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “동해 남서부 해역의 음속최소층에 관한 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

1995년 6월

한국해양연구소

연구책임자 : 변상경 (해양물리연구부)

요 약 문

I. 제 목

동해 남서부 해역의 음속최소층에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

해양 음향 토모그래피 실험과 해양내 음파 전파 연구를 위해서는 음속구조의 파악이 중요하며 특히 음파통로축으로 활용되는 음속최소층에 관한 연구는 필수적이다. 본 연구의 목적은 동해 남서부 해역에서 CTD에 의해 관측된 수온과 염분 자료를 이용하여 음속최소층의 월별 분포와 그 변화 요인을 파악하는데 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 음속최소층의 월별 평균 수심과 변화
2. 음파통로축의 상부 한계수심과 두께 분포
3. 음속최소층에서의 수온, 염분 및 음속 분포
4. 정점별 음속최소층의 월 변화

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 동해 남서부 해역에서의 해양음향 토모그래피 실험을 위해서는 음파의 전달 손실이 가장 적은 음파통로축의 활용이 필요하다.
2. 음파통로축의 수심은 음속최소층에 의해 결정되므로 음속구조에 관한 연구가 필요하다.
3. 음속최소층의 수심은 해양 조건에 따라 변화되므로 해양파악이 선결되어야 한다.

SUMMARY

I. Title

A study on the sound speed minimum layer in the south-west of East Sea

II. Objectives of the study

It is important to know the structure of sound speed for the experiment of ocean acoustic tomography and for the study of sound transmission. Particularly the study of sound speed minimum layer is essential in order to use the sound channel axis. The purpose of this study is to describe the monthly distribution and its variations by using temperature and salinity data gathered by CTD measurements done in the south-west of East Sea.

III. Contents

1. Monthly mean distribution of the depth of sound speed minimum layer and its variation
2. Upper limit depth and thickness of sound channel axis
3. Temperature, salinity and sound speed in the sound speed minimum layer
4. Monthly variation of sound speed minimum depth in each station

IV. Suggestions

1. In order for the ocean acoustic tomography experiment in the South-West of East Sea, it is necessary to utilize the sound channel where acoustic propagation loss is the minimum.
2. It is necessary to study the structure of sound speed because the depth of sound channel axis is determined by sound speed minimum layer.
3. Ocean condition should be known because it determines the depth of sound speed minimum layer.

목 차

요약문	ii
영문 요약문	iii
그림목차	vi
제 1 장 서론	1
제 2 장 자료 및 분석 방법	3
제 3 장 음속최소층의 수심	5
제 4 장 음파통로층의 형태	27
제 5 장 음속최소층에서의 수온, 염분 및 음속 분포	53
제 6 장 결론	91
참고문헌	92
부록 : 각 정점별 음속최소층의 월 변화	93

CONTENTS

Summary	iii
List of Figures	vi
Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Data and Method	3
Chapter 3. Depth of Sound Speed Minimum Layer	5
Chapter 4. Shape of Sound Channel Axis	27
Chapter 5. Temperature, Salinity and Sound Speed at Sound Speed Minimum Layer	53
Chapter 6. Conclusions	91
References	92
Appendix : Monthly Variation of Depth of Sound Speed Minimum Layer at Stations	93

List of Figures

Fig. 2-1. Station map.	4
Fig. 3-1. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer at total observed stations.	6
Fig. 3-2. Monthly mean and standard deviation of depth(m) of sound speed minimum layer for total observed stations.	7
Fig. 3-3. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line A.	8
Fig. 3-4. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line B.	9
Fig. 3-5. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line C.	10
Fig. 3-6. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line D.	11
Fig. 3-7. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line E.	12
Fig. 3-8. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line F.	13
Fig. 3-9. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line G.	14
Fig. 3-10. Depth(m) of sound speed minimum layer in January.	15
Fig. 3-11. Depth(m) of sound speed minimum layer in February.	16
Fig. 3-12. Depth(m) of sound speed minimum layer in March.	17
Fig. 3-13. Depth(m) of sound speed minimum layer in April.	18
Fig. 3-14. Depth(m) of sound speed minimum layer in May.	19
Fig. 3-15. Depth(m) of sound speed minimum layer in June.	20
Fig. 3-16. Depth(m) of sound speed minimum layer in July.	21
Fig. 3-17. Depth(m) of sound speed minimum layer in August.	22
Fig. 3-18. Depth(m) of sound speed minimum layer in September.	23
Fig. 3-19. Depth(m) of sound speed minimum layer in October.	24
Fig. 3-20. Depth(m) of sound speed minimum layer in November.	25
Fig. 3-21. Depth(m) of sound speed minimum layer in December.	26
Fig. 4-1. Upper limit depth(m) of sound channel in January.	28

Fig. 4-2. Upper limit depth(m) of sound channel in February.	29
Fig. 4-3. Upper limit depth(m) of sound channel in March.	30
Fig. 4-4. Upper limit depth(m) of sound channel in April.	31
Fig. 4-5. Upper limit depth(m) of sound channel in May.	32
Fig. 4-6. Upper limit depth(m) of sound channel in June.	33
Fig. 4-7. Upper limit depth(m) of sound channel in July.	34
Fig. 4-8. Upper limit depth(m) of sound channel in August.	35
Fig. 4-9. Upper limit depth(m) of sound channel in September.	36
Fig. 4-10. Upper limit depth(m) of sound channel in October.	37
Fig. 4-11. Upper limit depth(m) of sound channel in November.	38
Fig. 4-12. Upper limit depth(m) of sound channel in December.	39
Fig. 4-13. Thickness(m) of sound channel in January.	40
Fig. 4-14. Thickness(m) of sound channel in February.	41
Fig. 4-15. Thickness(m) of sound channel in March.	42
Fig. 4-16. Thickness(m) of sound channel in April.	43
Fig. 4-17. Thickness(m) of sound channel in May.	44
Fig. 4-18. Thickness(m) of sound channel in June.	45
Fig. 4-19. Thickness(m) of sound channel in July.	46
Fig. 4-20. Thickness(m) of sound channel in August.	47
Fig. 4-21. Thickness(m) of sound channel in September.	48
Fig. 4-22. Thickness(m) of sound channel in October.	49
Fig. 4-23. Thickness(m) of sound channel in November.	50
Fig. 4-24. Thickness(m) of sound channel in December.	51
Fig. 5-1. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in January.	55
Fig. 5-2. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in February.	56
Fig. 5-3. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in March.	57
Fig. 5-4. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in April.	58
Fig. 5-5. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in May.	59
Fig. 5-6. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in June.	60

Fig. 5-7. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in July.	61
Fig. 5-8. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in August.	62
Fig. 5-9. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in September.	63
Fig. 5-10. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in October.	64
Fig. 5-11. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in November.	65
Fig. 5-12. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in December.	66
Fig. 5-13. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in January.	67
Fig. 5-14. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in February.	68
Fig. 5-15. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in March.	69
Fig. 5-16. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in April.	70
Fig. 5-17. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in May.	71
Fig. 5-18. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in June.	72
Fig. 5-19. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in July.	73
Fig. 5-20. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in August.	74
Fig. 5-21. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in September.	75
Fig. 5-22. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in October.	76
Fig. 5-23. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in November.	77
Fig. 5-24. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in December.	78

Fig. 5-25. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in January.	79
Fig. 5-26. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in February.	80
Fig. 5-27. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in March.	81
Fig. 5-28. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in April.	82
Fig. 5-29. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in May.	83
Fig. 5-30. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in June.	84
Fig. 5-31. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in July.	85
Fig. 5-32. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in August.	86
Fig. 5-33. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in September.	87
Fig. 5-34. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in October.	88
Fig. 5-35. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in November.	89
Fig. 5-36. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in December.	90

제 1 장 서론

해양내 음속은 해수의 밀도에 따라 결정된다. 즉 음속 u 는

$$u = (\gamma / \rho k)$$

로 표시되는데, 여기서 γ 는 C_p / C_v (정압비열과 정적비열의 비)이고, ρ 는 해수의 밀도, 그리고 k 는 단열적 압축율(adiabatic compressibility)을 나타낸다. 해수의 밀도는 수온, 염분 및 압력에 따라 변하는데 일반적으로 해양에서 이들의 변화폭은 수온이 0-30℃, 염분은 0-36‰, 수압은 0-10,000dbar이며 음속은 수온 1℃ 증가에 따라 3.2-4.1m/s 씩 증가되며 염분은 1‰ 증가에 1.2m/s씩 증가되고 수심 100m 증가에 따라서는 1.7m/s씩 증가된다. 따라서 음속변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 수온이며 표층 부근의 음속분포는 주로 수온분포와 매우 흡사하게 나타나고 있다. 그러나 심층에서는 수온과 염분의 변화폭이 아주 적으므로 압력의 영향을 크게 받아 음속은 수심 증가와 함께 증가하게 됨으로써 음속이 최소가 되는 층이 나타나게 된다. 전 세계 대양의 경우 음속최소층의 수심은 적도해역에서 1,000m 부근에, 중위도 해역에서는 1,200-1,400m 그리고 극지방해역에서는 200m 이내에서 나타나고 있으며 음속은 대략 1,440-1,500m가 되고 있다.

음속최소층이 존재하는 해양에서는 음원을 음속최소층에 위치시킨 후 음파를 발사하면 발사된 음은 음속최소층을 중심으로 (해표면이나 해저면을 접촉함으로써 에너지 손실을 가져오지 않고) 굴절하여 먼 거리까지 전달된다. 음파가 먼 거리를 전파할 때 전파속도는 음선 경로의 밀도(즉 수온, 염분, 압력)분포에 따라 좌우되므로 역방법을 이용하여 밀도분포를 추정할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 해양내 인자들을 측정하는 해양 음향 토모그래피는 최근에는 전 지구의 기후변화와 연관된 해수의 온도 변화를 예측하기 위한 방법으로 제시된 이후 (Munk와 Forbs, 1989) 세계 여러나라에서 많은 관심을 갖고 해양의 토모그래피 연구를 진행하고 있다.

본 연구의 목적은 한국 동해 남서부해역에서 관측된 CTD 자료로부터 음속최소층의 평균 분포와 월 변화를 파악하여 향후 해양음향토모그래피 실험의 기초자료로 활용코저 하는데 있다. 이를 위해 계절별 분포와 변화를 정리한 바 있는데 (변, 1993) 금희의 연구에서는 이것을 확장하여 매월별 분포를 파악하고자 하였다.

제 2 장 자료 및 분석 방법

사용한 자료로서는 한국해양연구소 해양물리연구팀에 의해 1990년부터 1993년까지 4개년에 걸쳐 한국 동해 울릉분지를 중심으로 한 수심이 비교적 깊은 $36^{\circ} - 38^{\circ}$ N, 동해안 - $132^{\circ} 15' E$ 해역에서 CTD에 의해 표층에서 해저까지 연속적으로 관측된 자료만을 사용하였다. 사용된 자료는 총 91개 정점에서 관측되었으며, 각각의 정점들을 위도에 따라 북으로부터 남으로 6개 정선 (A, B, C, D, F, G)과 경도에 따른 1개 정선(E)으로 분류하였다(그림 2-1). 자료의 분석을 위해서 CTD 관측자료로부터 수심 1m 간격의 수온과 염분을 구한 후 해수의 밀도와 음속을 계산하였다. 해수 중의 음속은 UNESCO(1983)에서 추천한 Chen과 Millero의 공식을 이용하여 계산하였다. 해안에 가까운 수심이 낮은 해역에서는 음속이 수심 증가에 따라 감소하여 음속최소층이 해저면에 위치하는 부(negative)의 음속기울기를 갖는 경우가 나타나는데 이러한 경우는 해저수심과의 혼돈을 피하기 위해 자료처리시 제외하여 분포도에서는 나타내지 않았다.

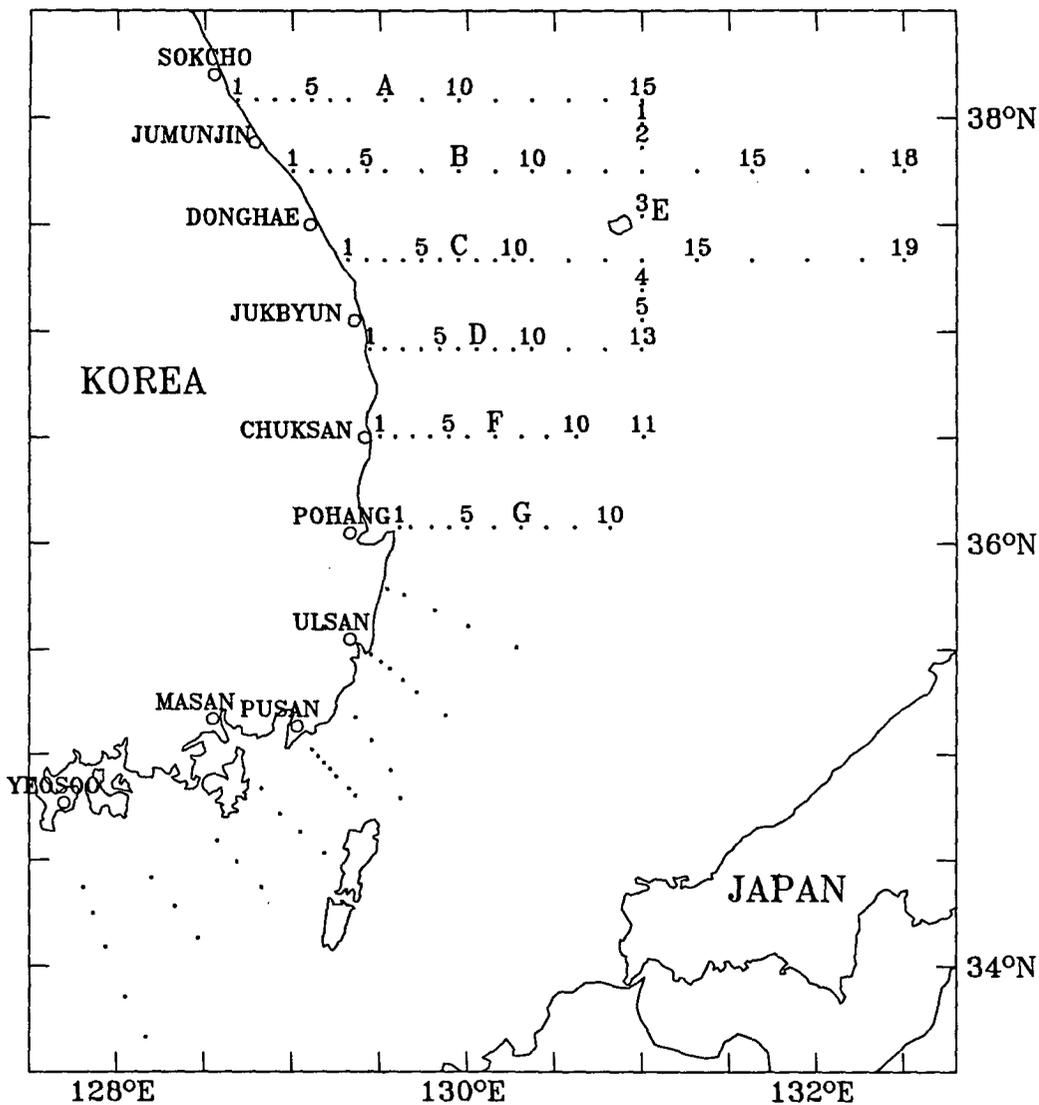


Fig. 2-1. Station map.

제 3 장 음속최소층의 수심

그림 3-1부터 그림 3-9사이에 동해 남서부 해역에서 관측되었던 CTD 정점자료로부터 구한 음속최소층 수심의 전체 관측치, 월별 평균치와 표준편차, 그리고 각 정선에서의 관측치를 나타내었다. 그리고 각각의 정점에서 관측된 음속최소층의 월별 변화를 부록에 수록하였다. 1월의 경우는 기상악화로 관측된 정점수가 다른 월에 비하여 매우 적었다. 각각의 정점에서 음속최소층의 수심이 월별로 크게 변화하여 최대 200m 이상 변하는 경우도 많이 나타나고 있다. 특히 A정선과 D정선에서는 그 변화폭이 타 정선에 비해 크게 나타나고 있는데 이는 이 정선부근에서의 해황변화가 큼을 보여주고 있다. 음속최소층의 평균 수심은 7월과 3월에 각각 최소와 최대를 보이고 표준편차 역시 이곳에서 크게 나타나고 있다.

그림 3-10부터 그림 3-21까지에 음속최소층의 월별 수심분포를 각각 나타내었다. 전체적으로 음속최소층은 수심 300-400m에 위치하며 등심선은 동서방향보다 해안선에 평행한 남북방향으로 분포되고 있다. 음속최소층의 수심은 해안부근에서 200m이하로 낮고 외해역에서 350m 이상으로 깊게 나타나고 있다. 특히 가장 깊은 수심은 최대 500m 이상으로 울릉도 남서부 37°N 부근과 속초-울릉도 사이 38°N 부근에서 보이고 있다.

이와 같은 음속최소층의 깊이 변화는 해황에 따라 크게 좌우된다. 동해 남서부 해역에서는 대마난류의 연장인 동한난류가 남에서 북으로 해안선에 평행하게 흐르고 있기 때문에 수괴분포가 남-북 방향으로 형성되어 음속최소층의 등심선도 남북방향으로 나타나며 동한난류의 세기에 따라 등심선의 위치가 크게 변할 수 있다. 특히 37°N와 38°N 부근에서 보이는 음속최소층의 깊이가 500m 이상으로 최대치가 나타난 것은 이 해역에 위치했던 난수성 소용돌이(warm eddy)의 영향이다. 즉 소용돌이 내부에는 고온의 균질한 해수가 두껍게 존재하므로써 저온의 하층수와 경계가 되는 수온약층의 수심이 깊어지게 되고, 따라서 수온약층 바로 아래에서 생성되는 음속최소층의 수심도 깊어지게 된다.

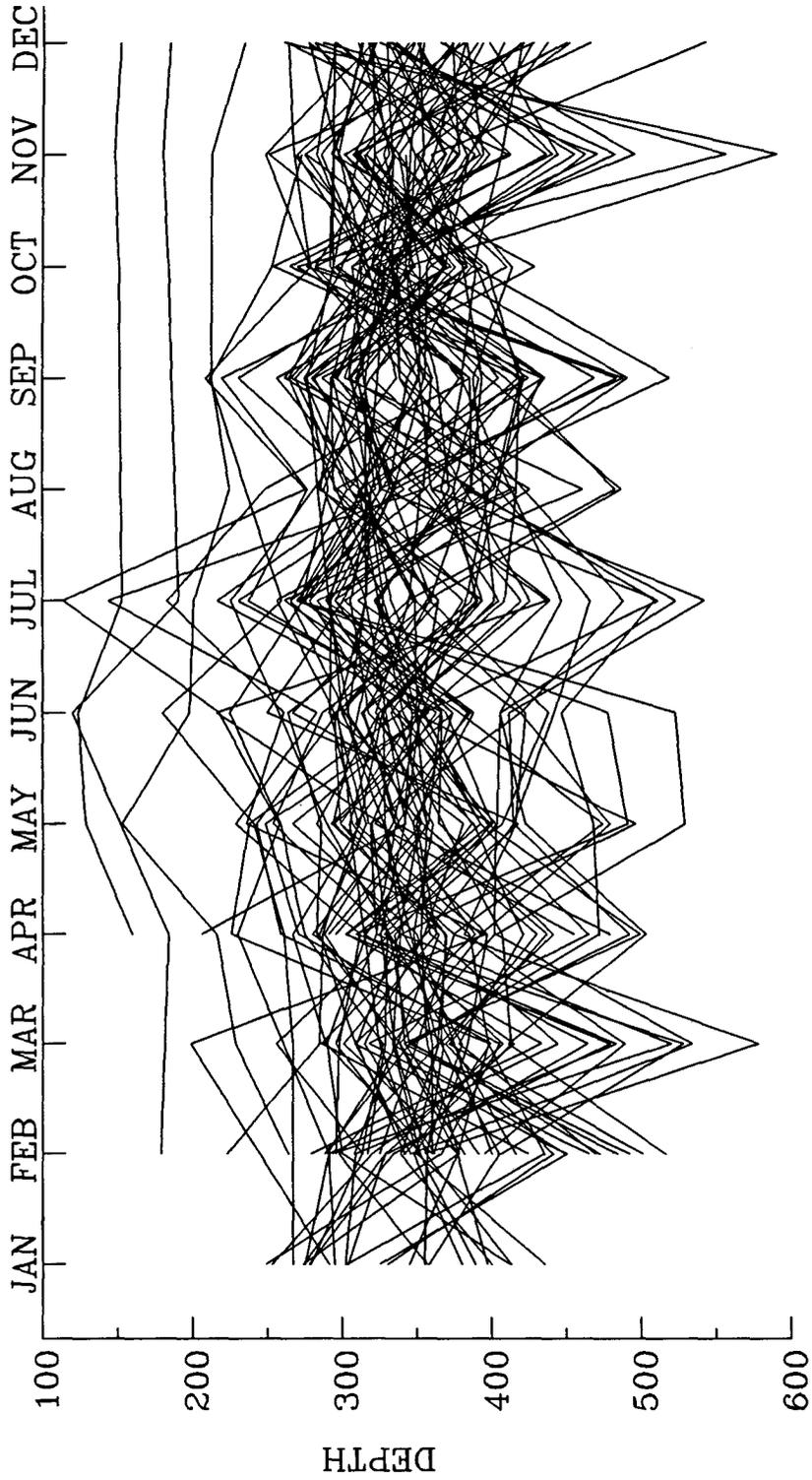


Fig. 3-1. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer at total observed stations.

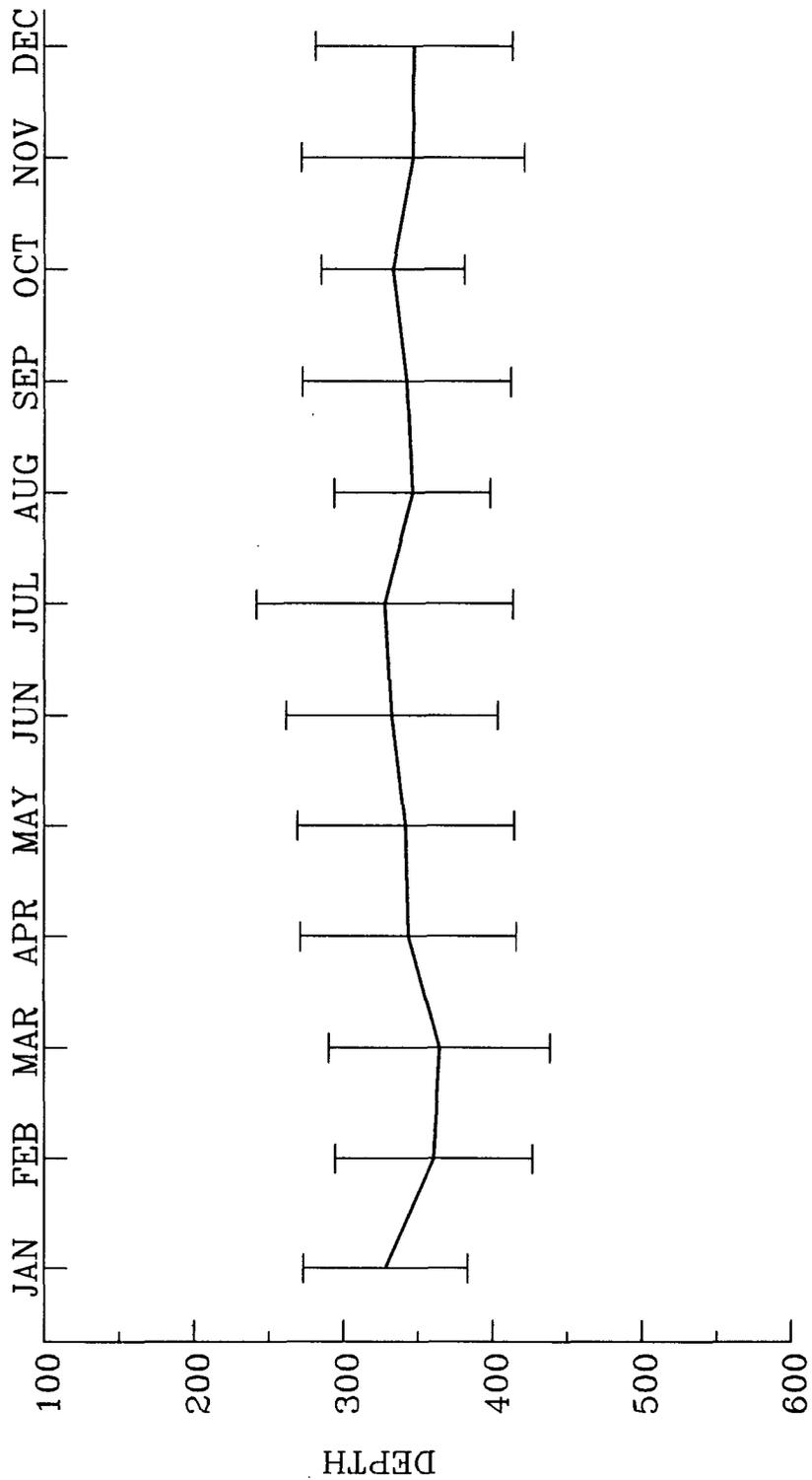


Fig. 3-2. Monthly mean and standard deviation of depth(m) of sound speed minimum layer for total observed stations.

A-LINE

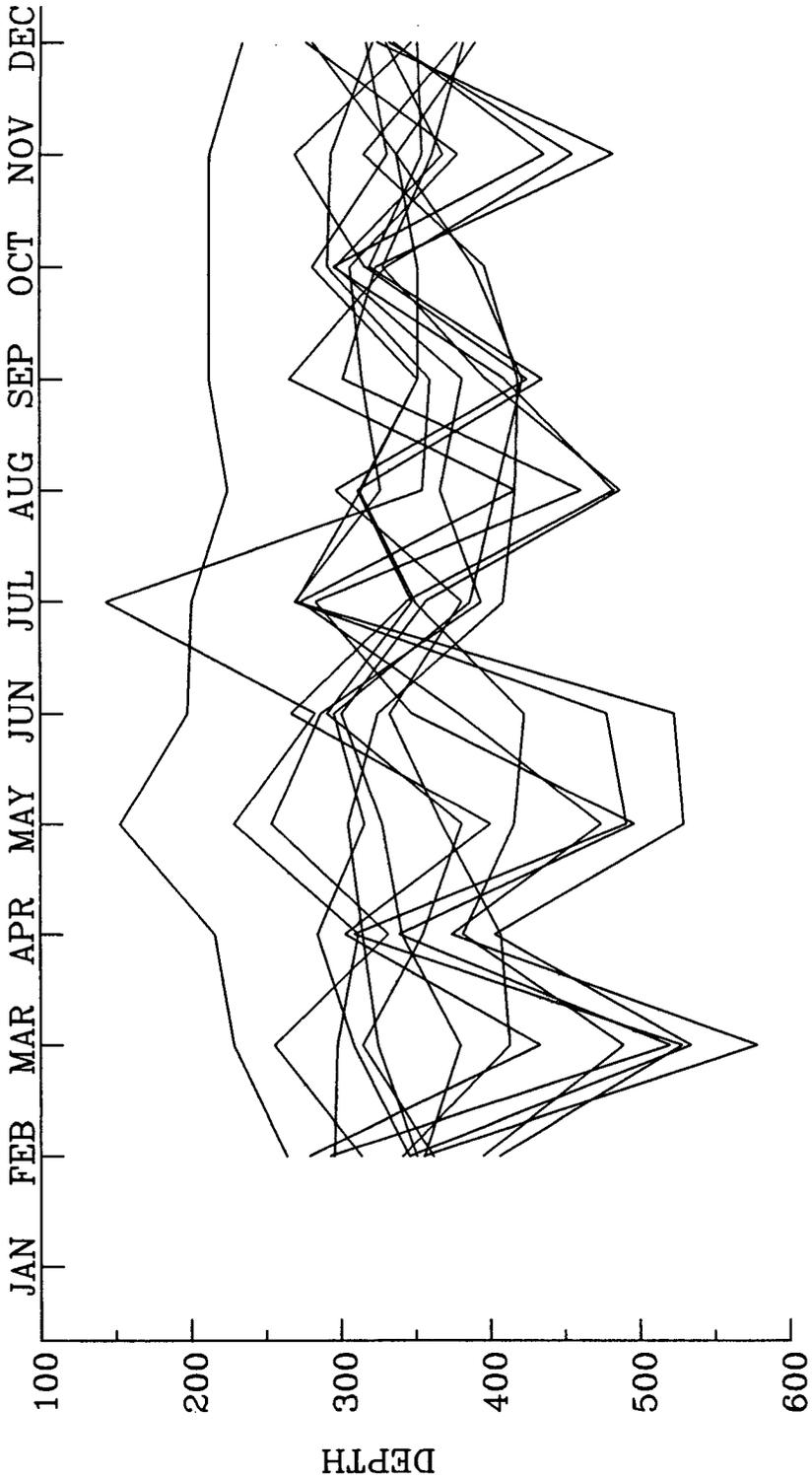


Fig. 3-3. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line A.

B-LINE

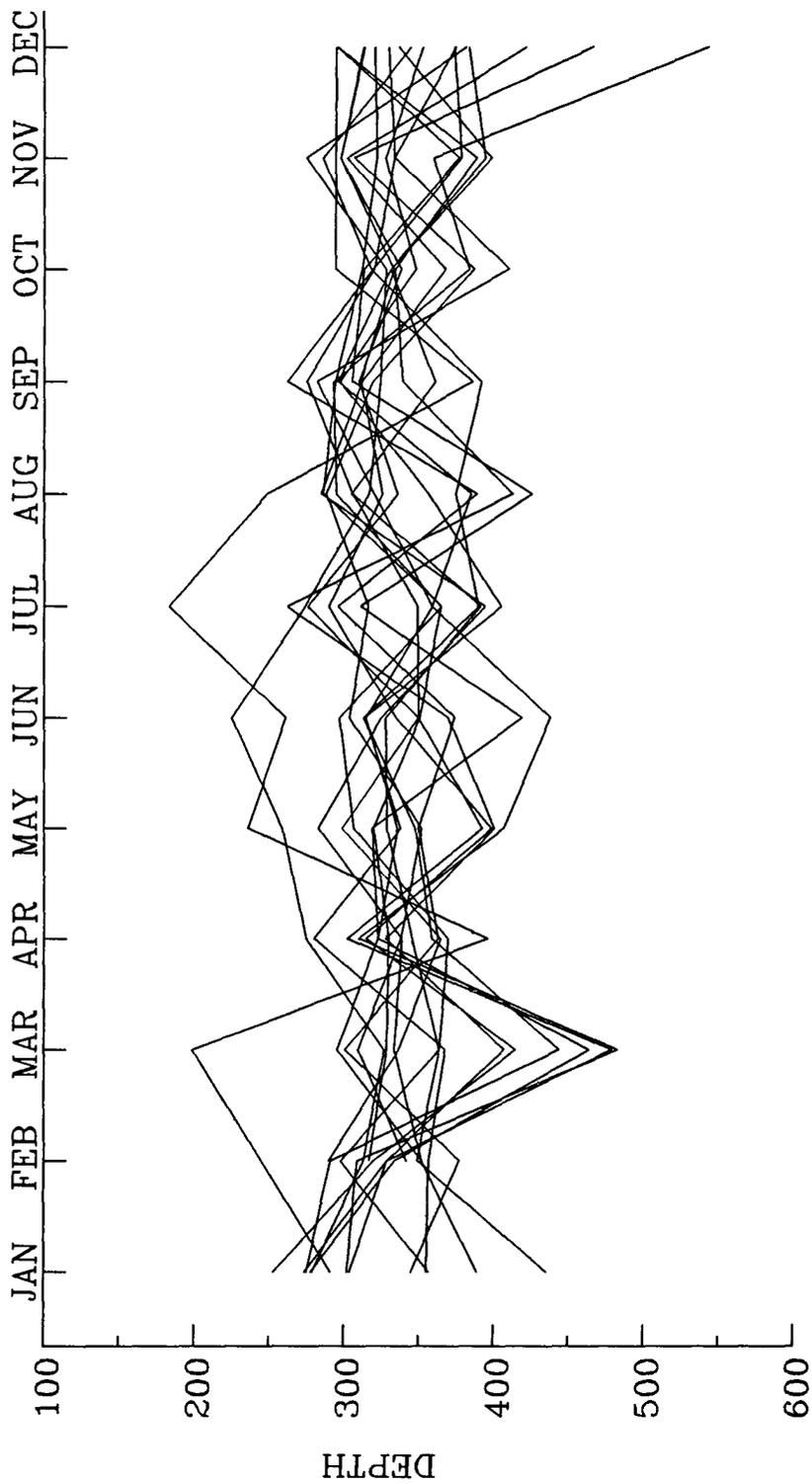


Fig. 3-4. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line B.

C-LINE

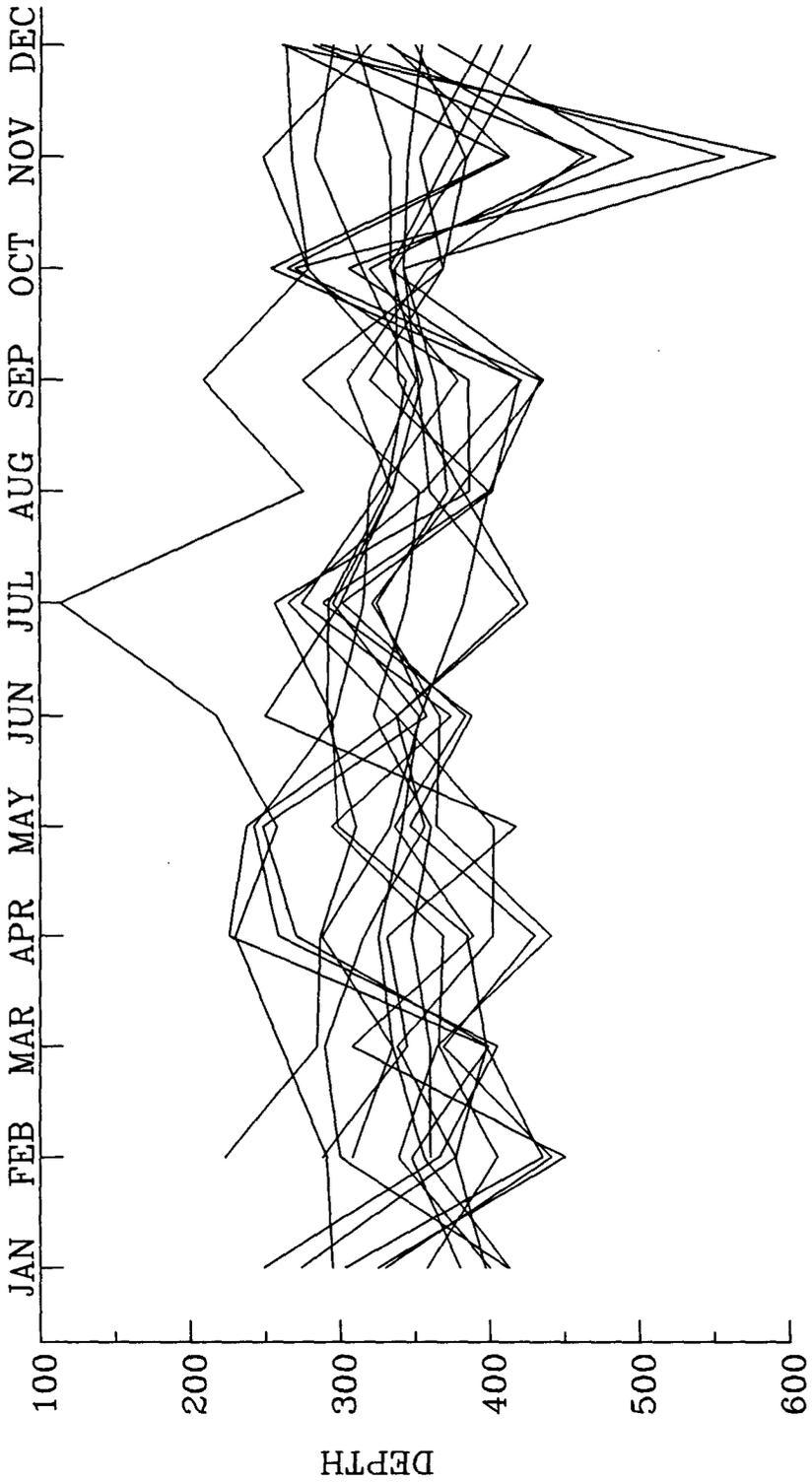


Fig. 3-5. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line C.

D-LINE

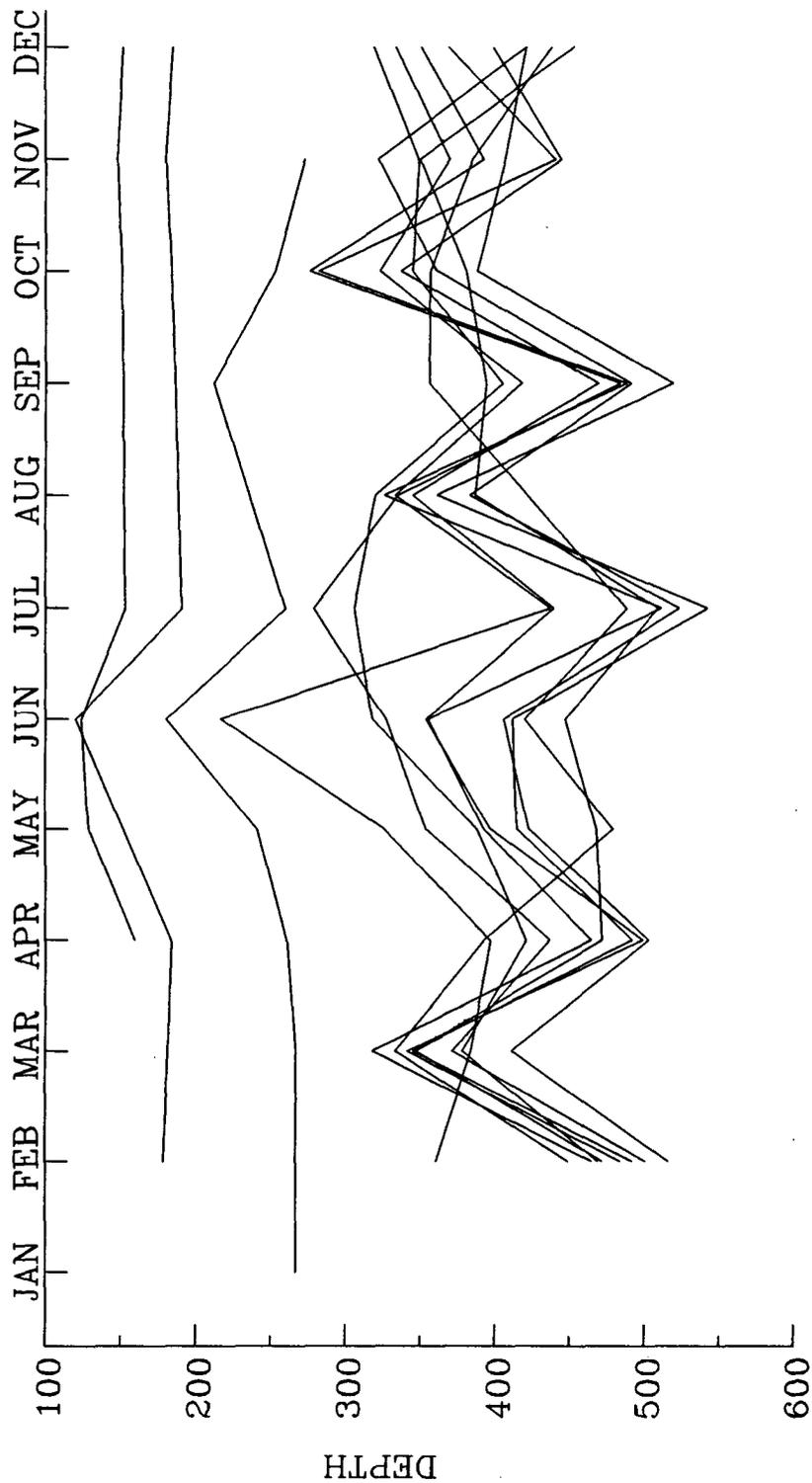


Fig. 3-6. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line D.

E-LINE

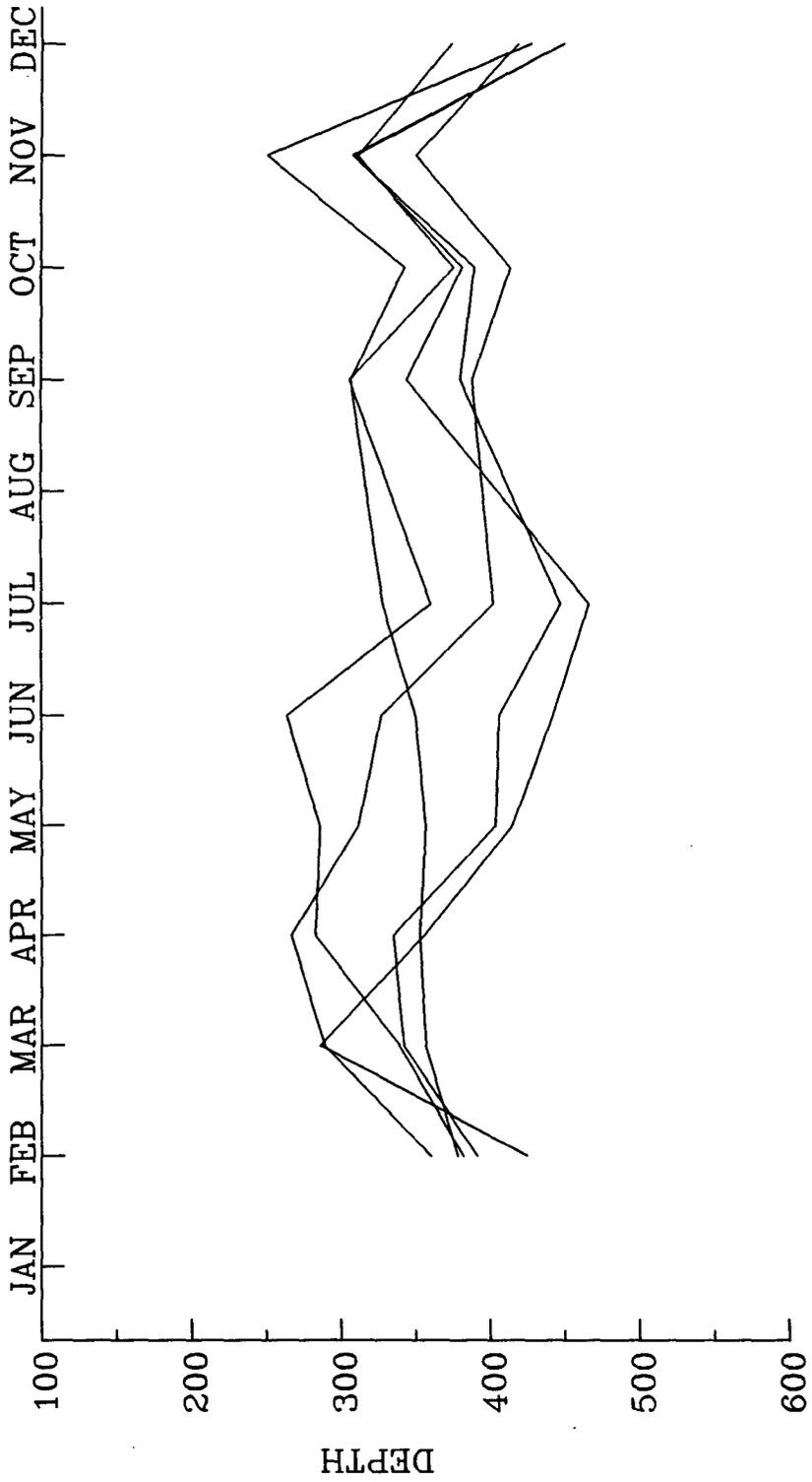


Fig. 3-7. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line E.

F-LINE

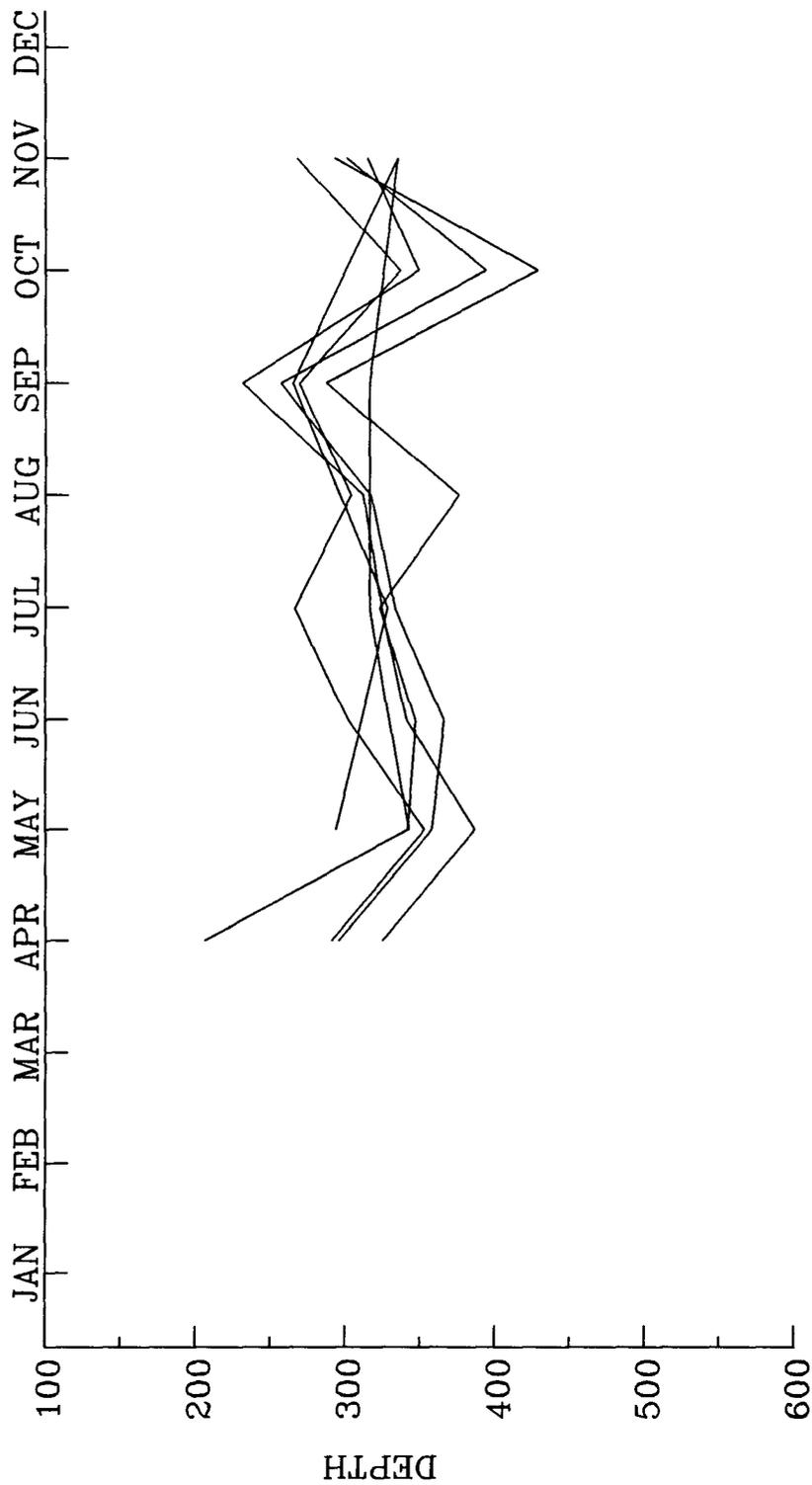


Fig. 3-8. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line F.

G-LINE

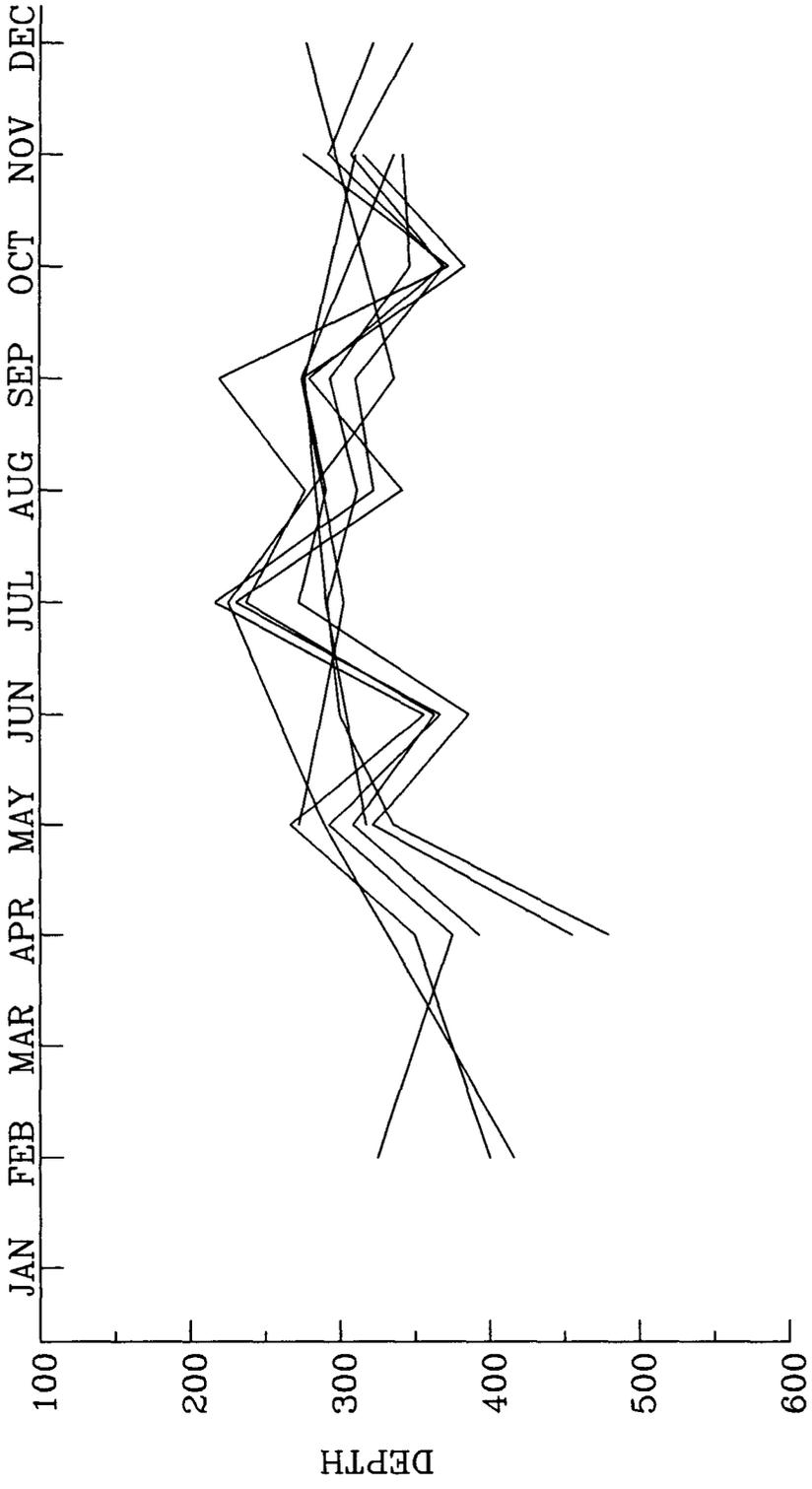


Fig. 3-9. Monthly variation of depth(m) of sound speed minimum layer in line G.

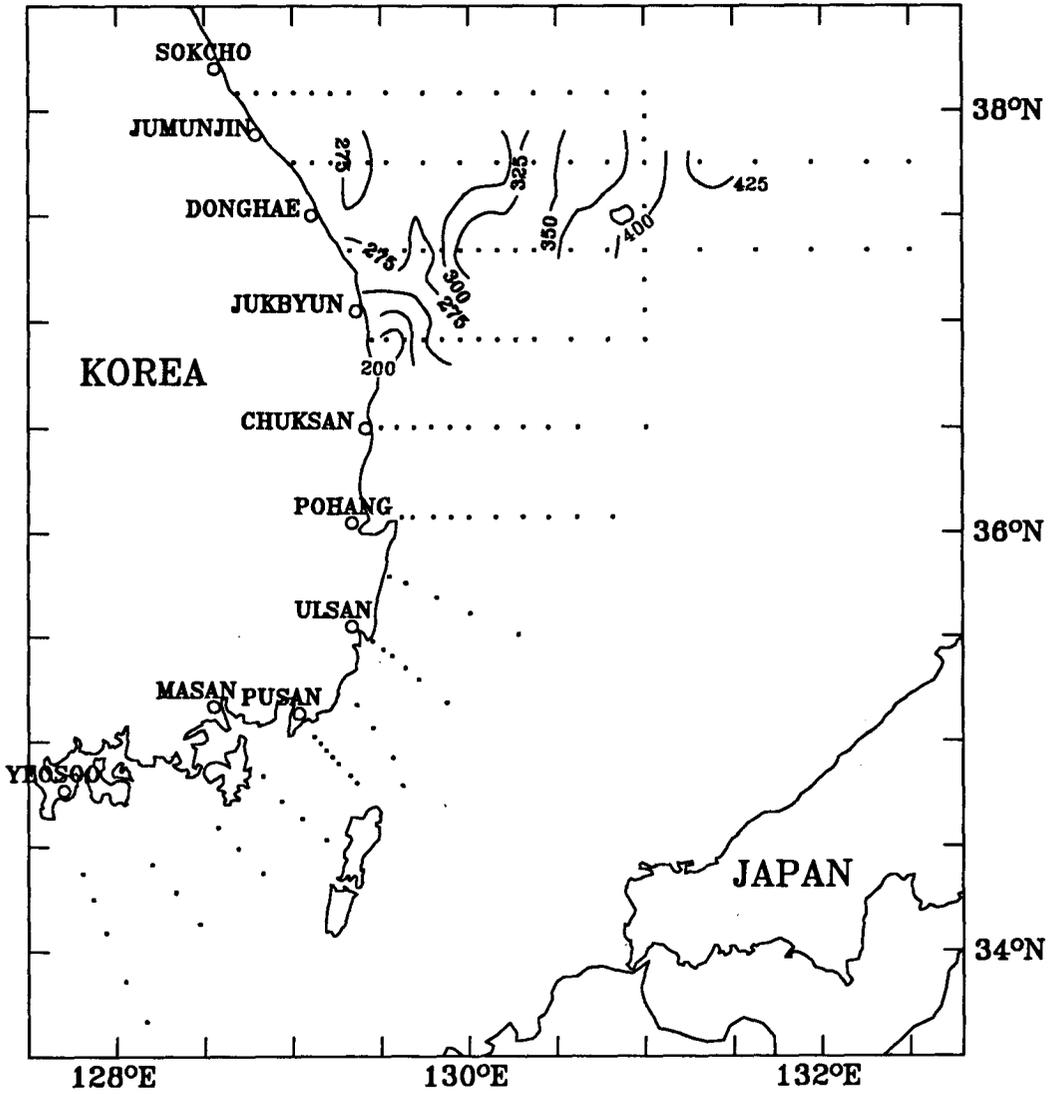


Fig. 3-10. Depth(m) of sound speed minimum layer in January.

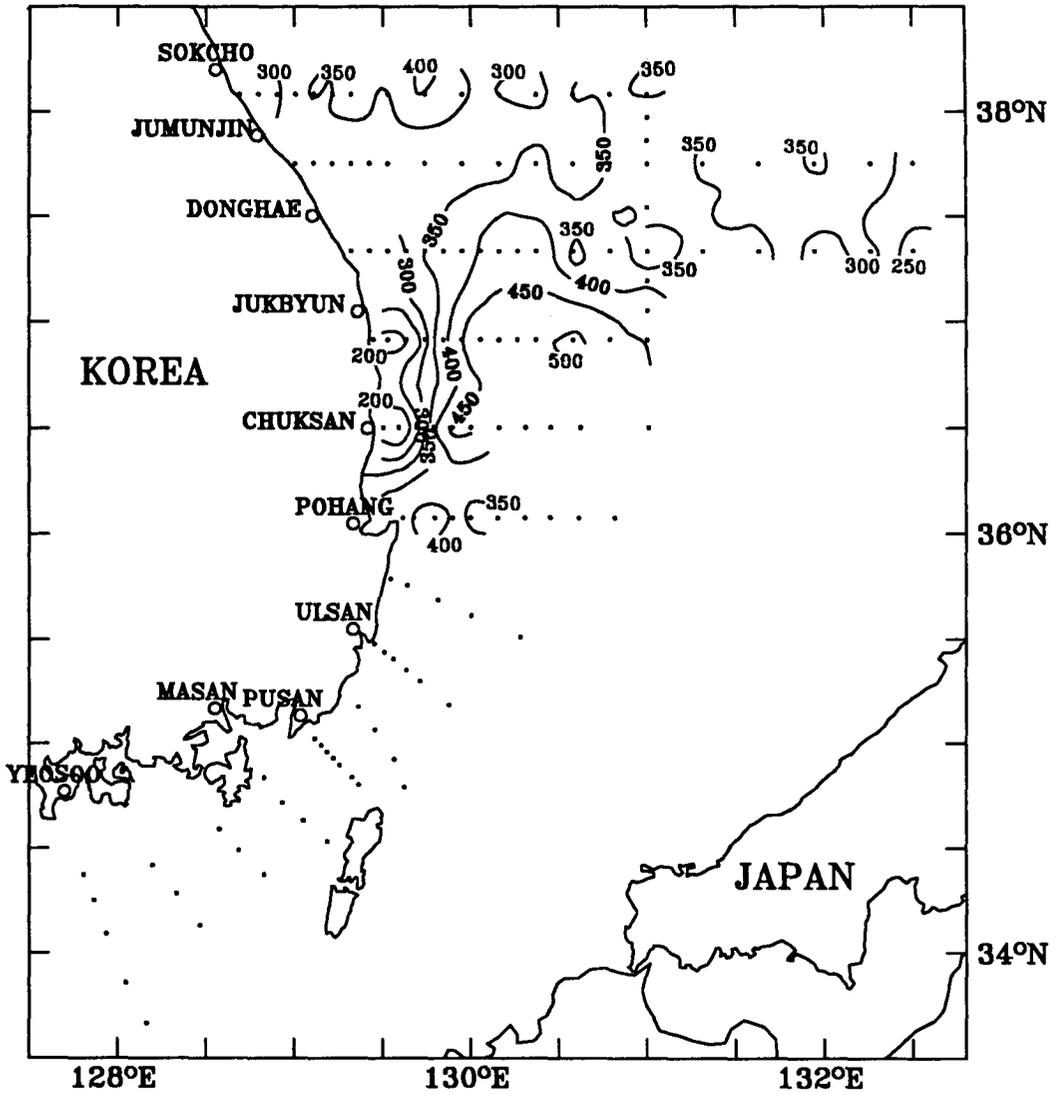


Fig. 3-11. Depth(m) of sound speed minimum layer in February.

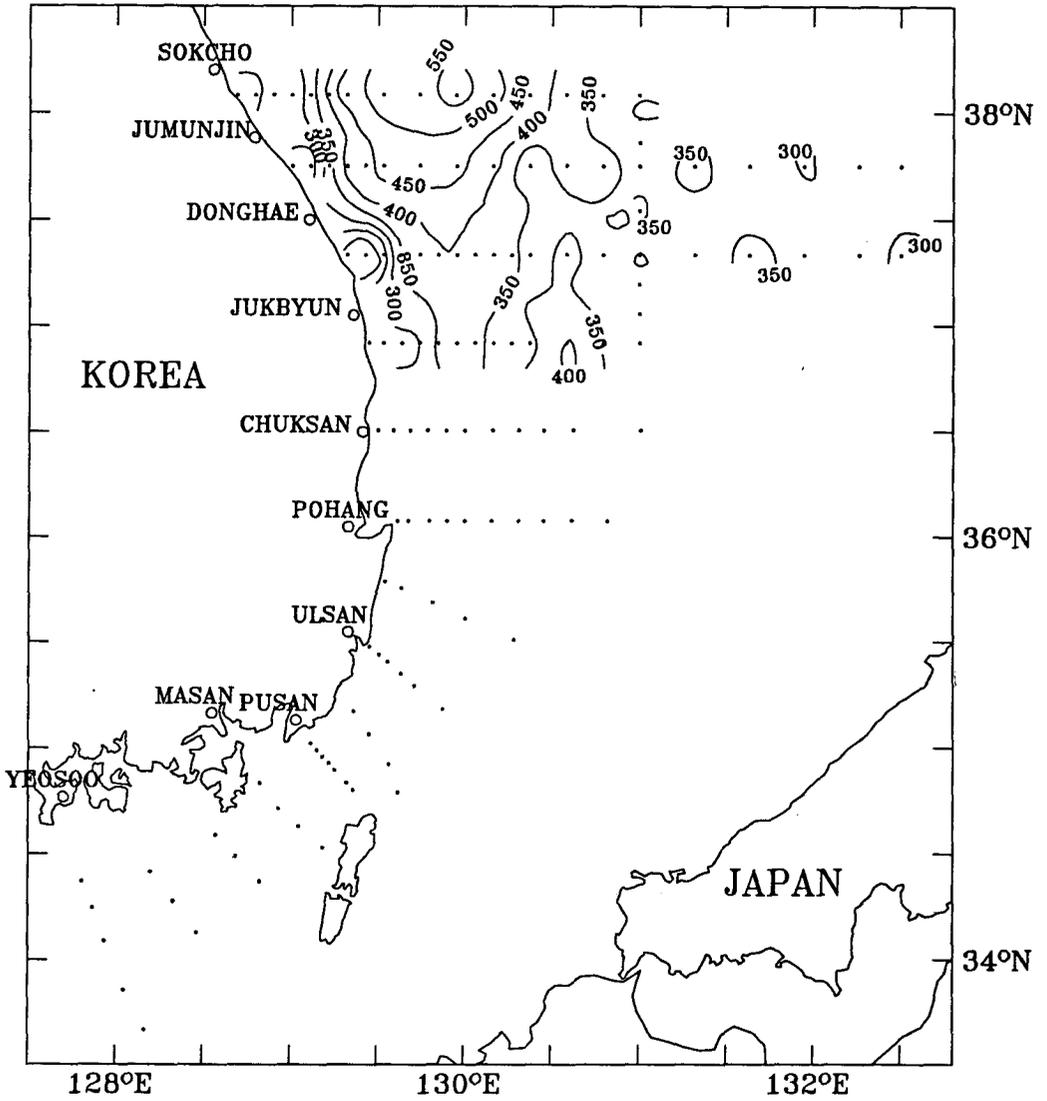


Fig. 3-12. Depth(m) of sound speed minimum layer in March.

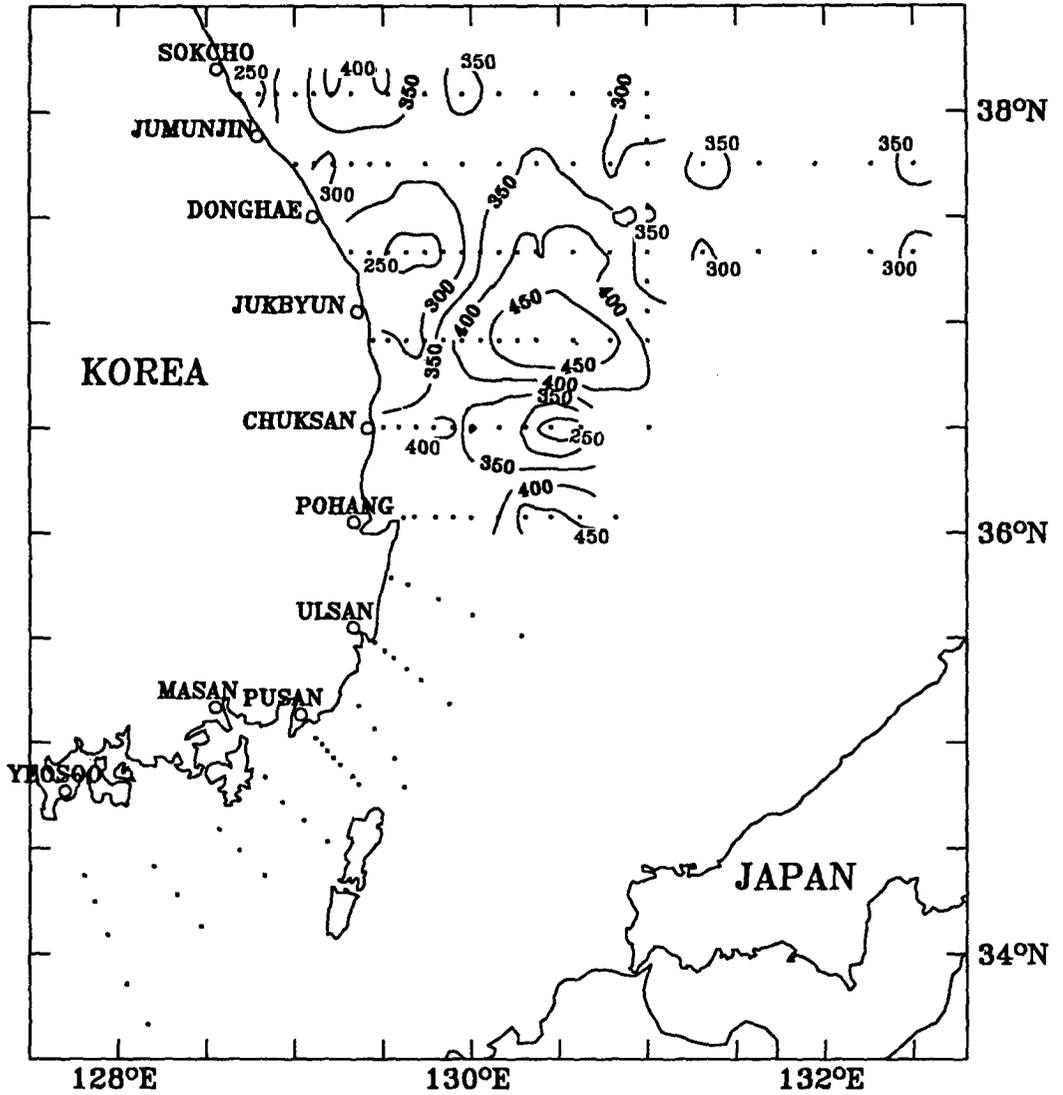


Fig. 3-13. Depth(m) of sound speed minimum layer in April.

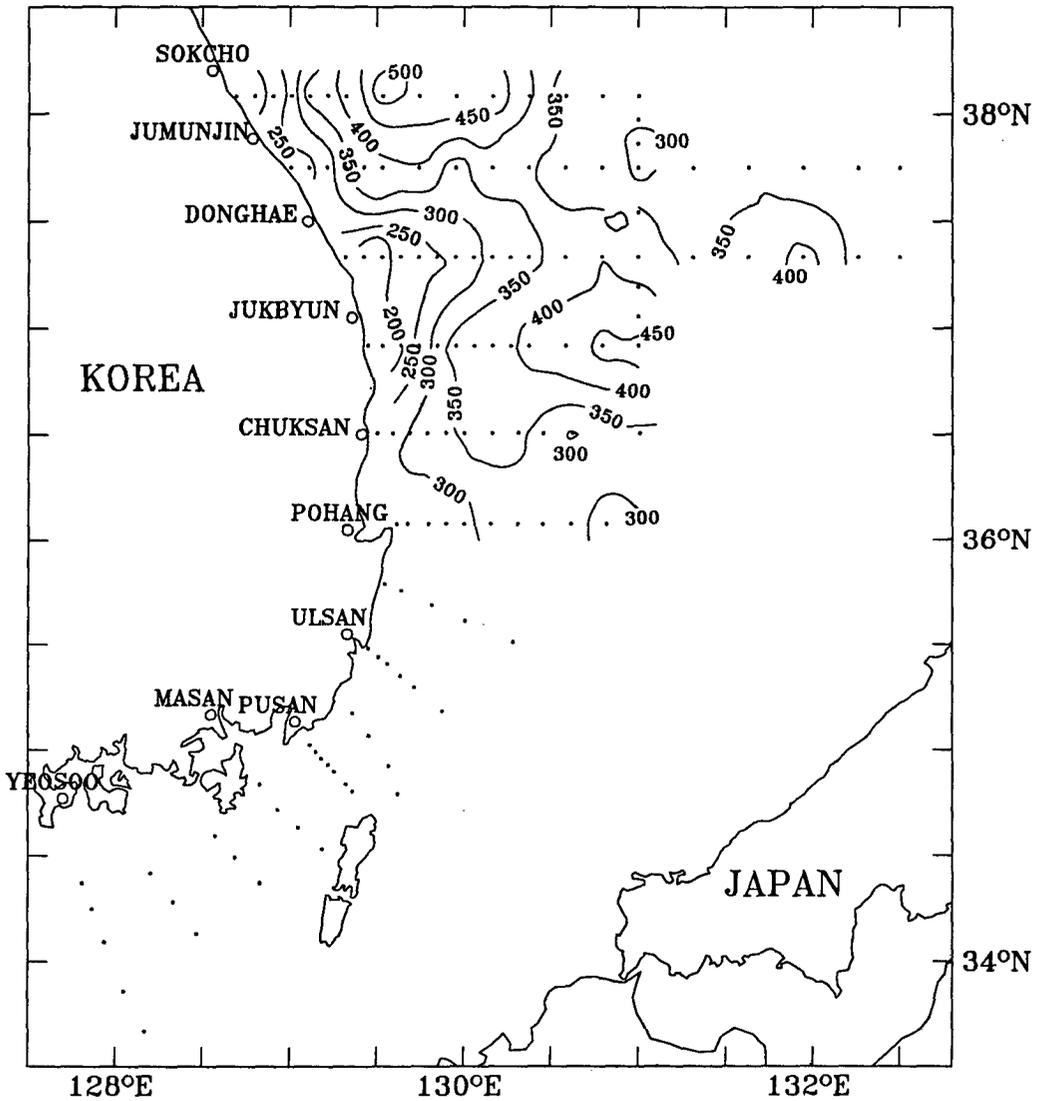


Fig. 3-14. Depth(m) of sound speed minimum layer in May.

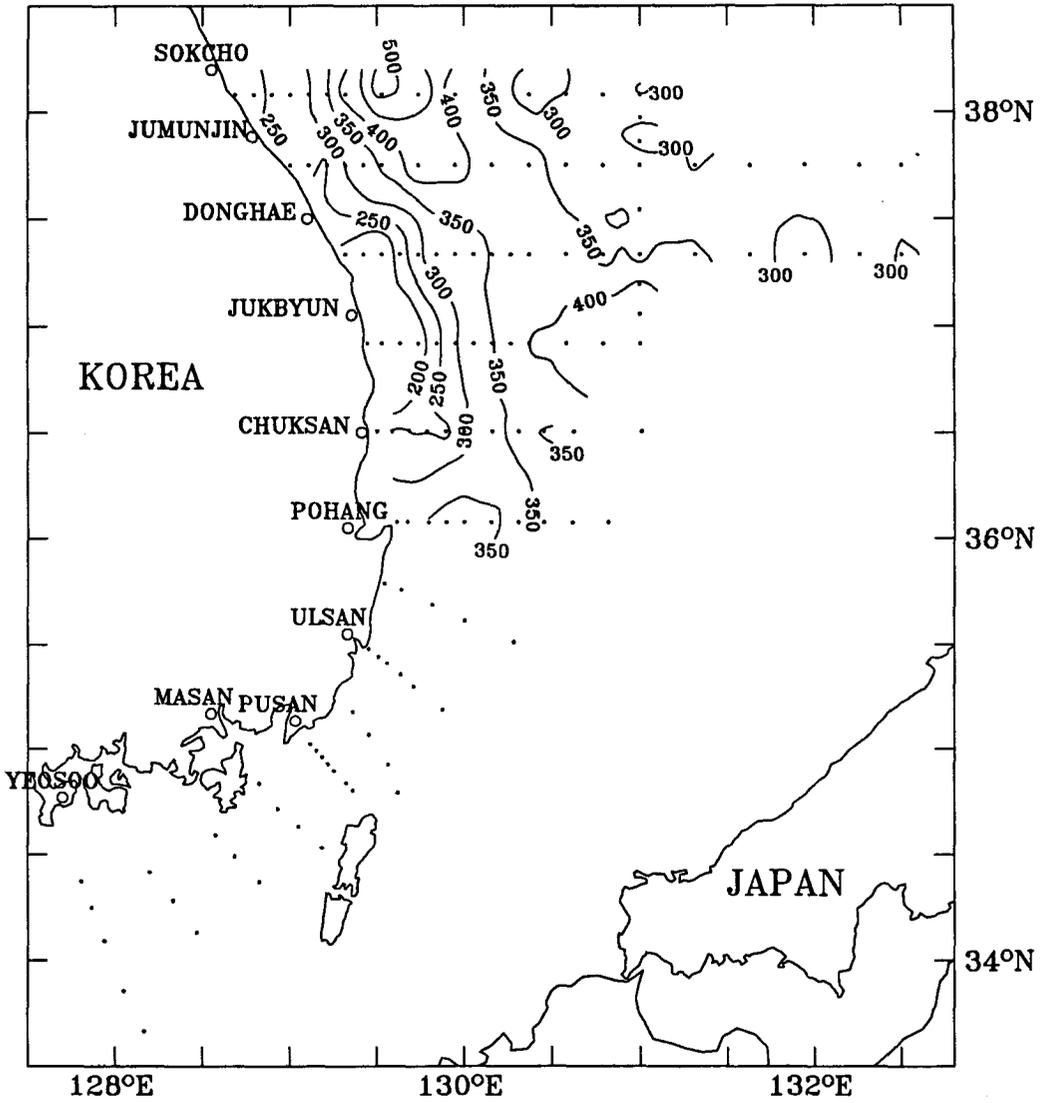


Fig. 3-15. Depth(m) of sound speed minimum layer in June.

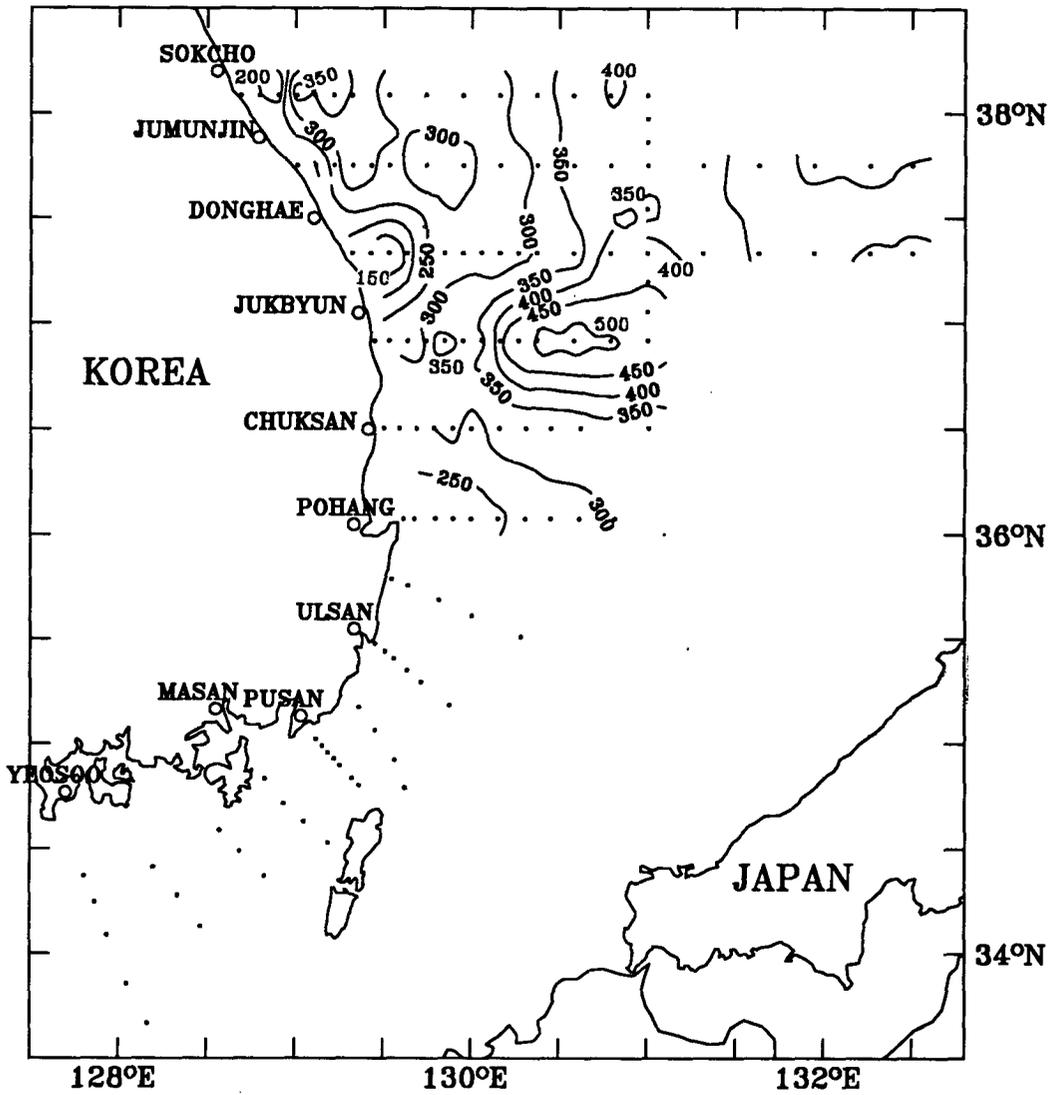


Fig. 3-16. Depth(m) of sound speed minimum layer in July.

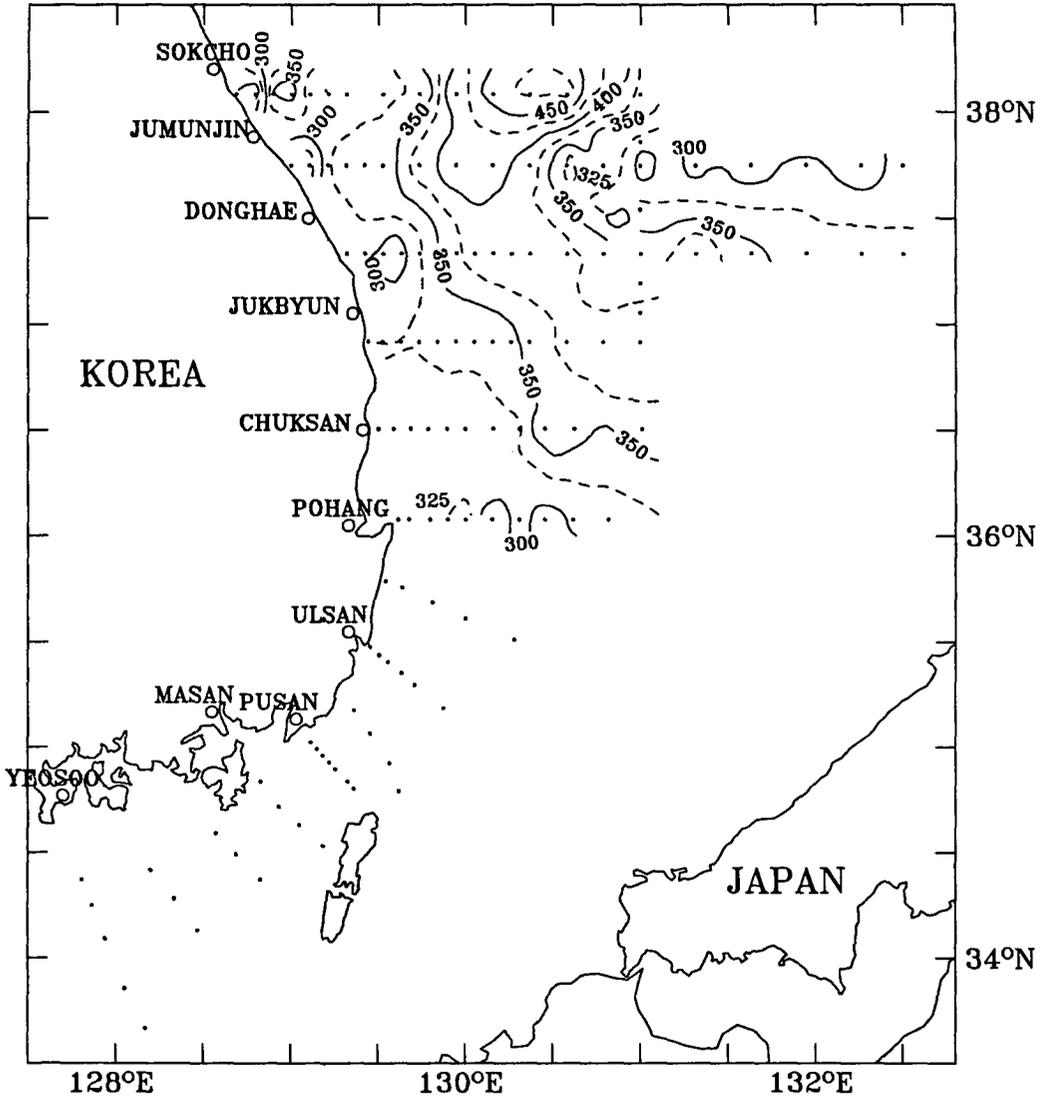


Fig. 3-17. Depth(m) of sound speed minimum layer in August.

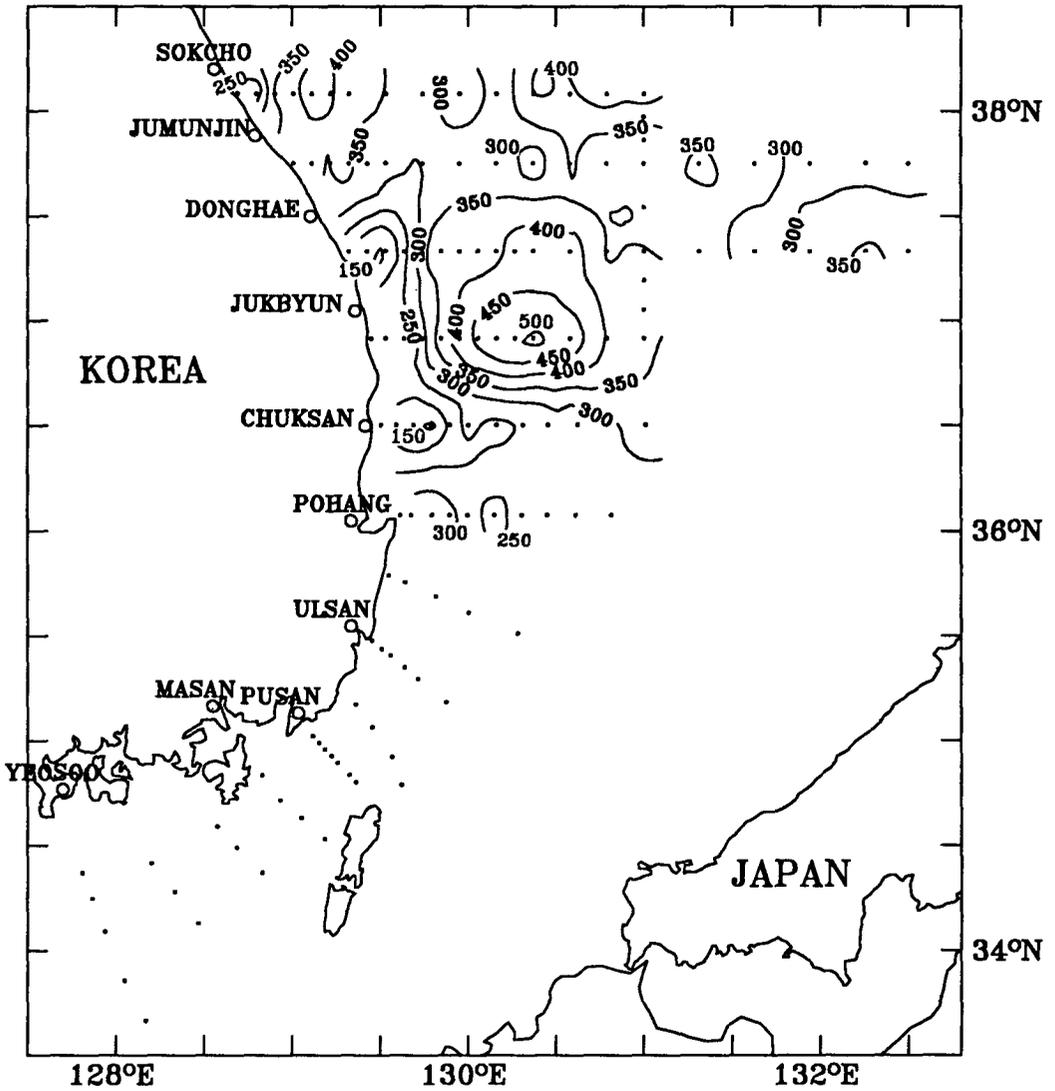


Fig. 3-18. Depth(m) of sound speed minimum layer in September.

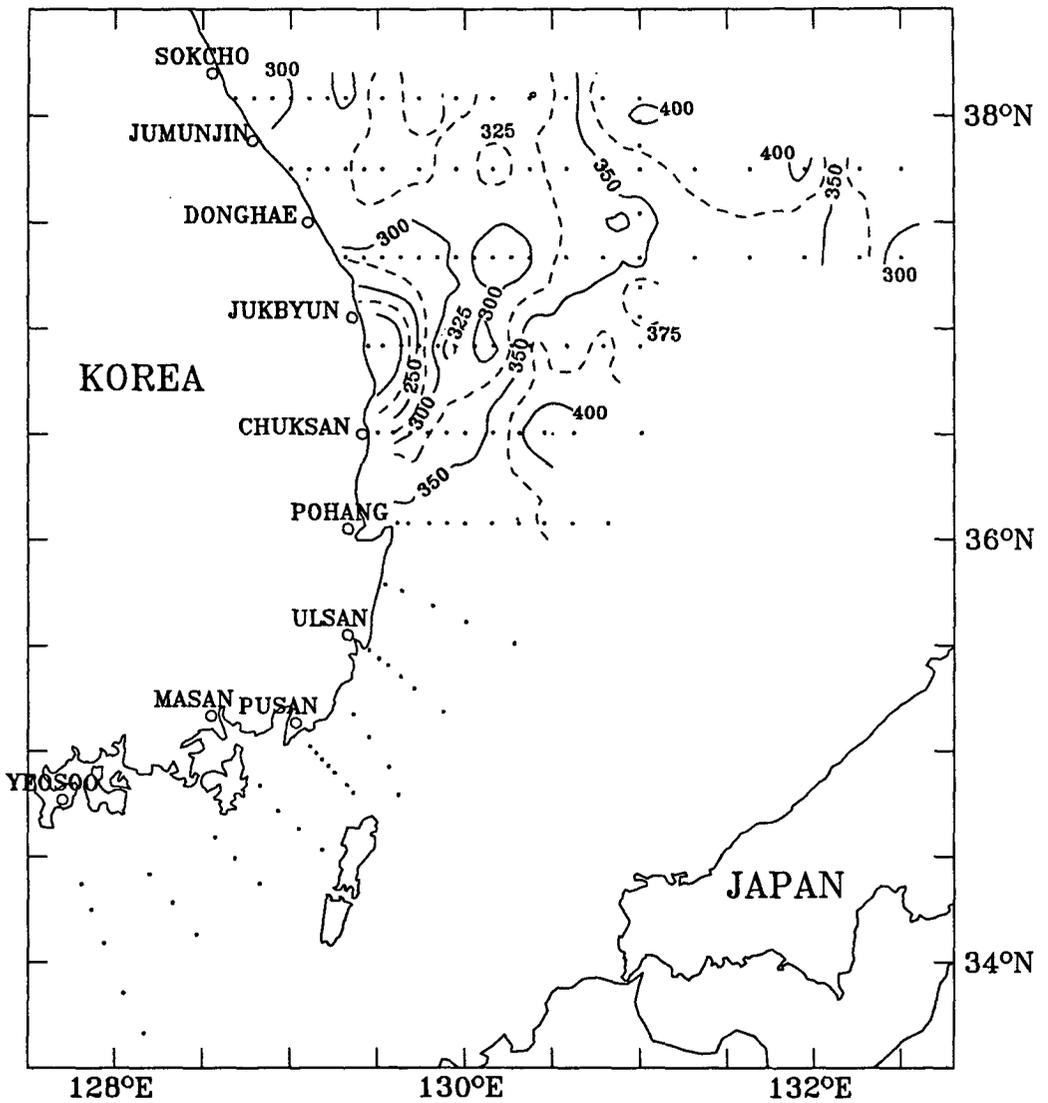


Fig. 3-19. Depth(m) of sound speed minimum layer in October.

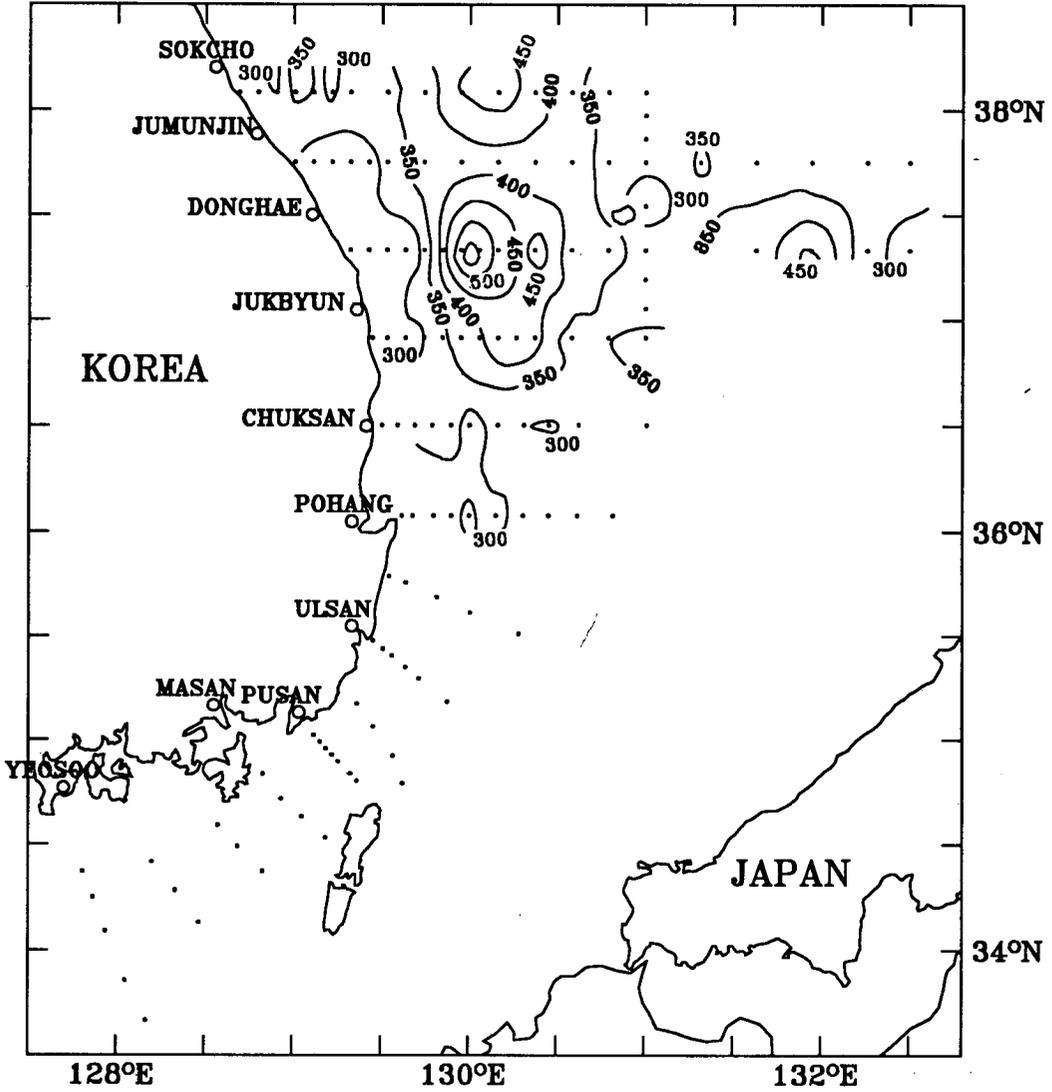


Fig. 3-20. Depth(m) of sound speed minimum layer in November.

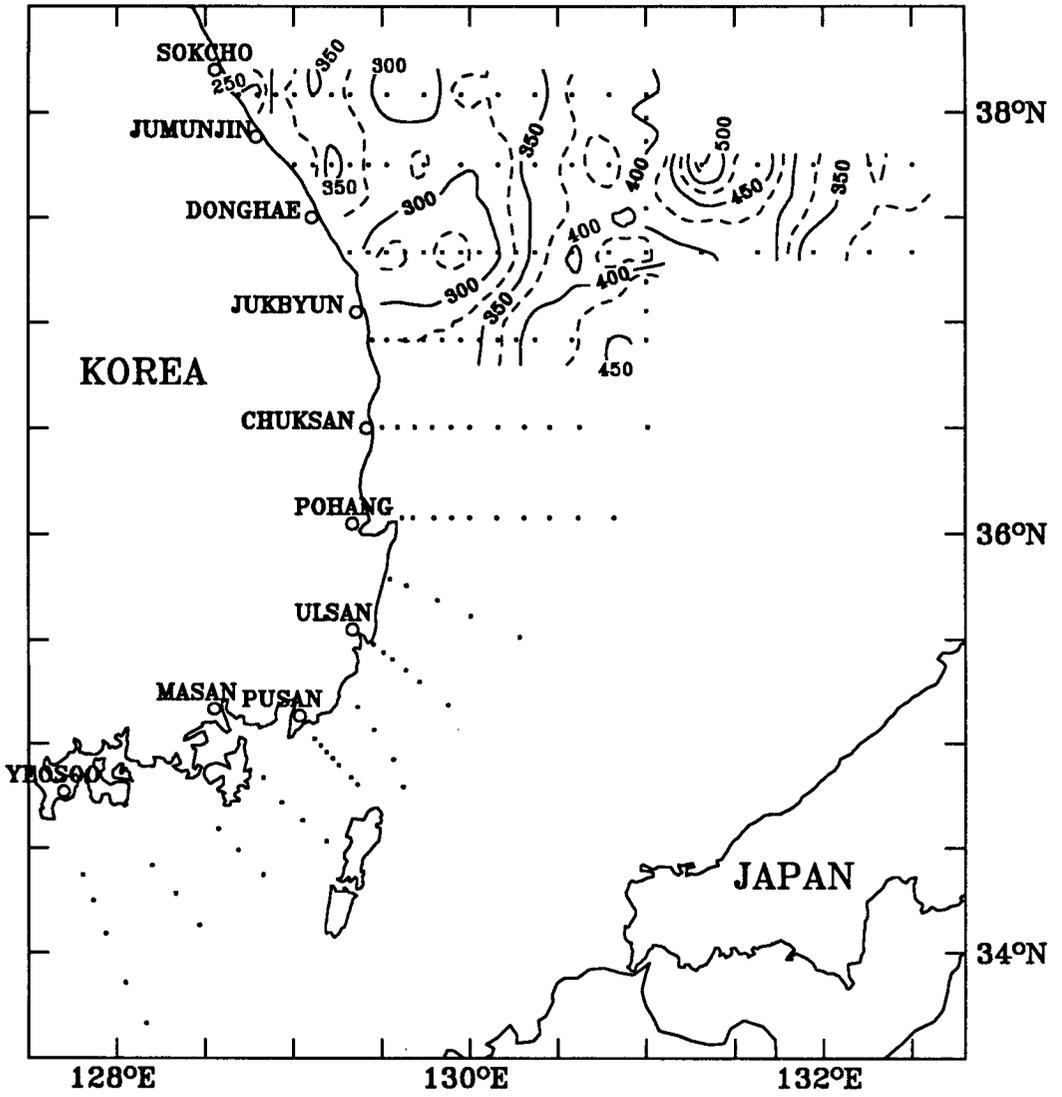


Fig. 3-21. Depth(m) of sound speed minimum layer in December.

제 4 장 음파통로축의 형태

음속최소층에 음원을 두고 음파를 발사하면 발사된 음은 음속최소층을 중심으로 수렴되기 때문에 해표면이나 해저에서의 손실이 적어 원거리까지 전달될 수 있으며, 각각의 음선들은 마치 한개의 통로를 통해 전달되는 것처럼 나타난다. 따라서 음속최소층은 곧 음파통로축에 해당하게 된다. 동해 남서부 해역은 대양의 경우처럼 수심이 매우 깊지 않고 최대 수심 2000-2500m이기 때문에 해표면에 음파통로축의 상부 한계수심이 나타나지 않고 수심 50-250m 사이에서 상부 한계수심이 나타나고 있다 (그림 4-1에서 그림 4-12). 전반적으로 음파통로축의 수심이 깊은 해역에서는 상부 한계수심도 역시 깊게 나타나고 있는데 이는 앞장에서 살펴 본 바와 같이 난수성 소용돌이의 영향을 크게 받고 있음을 보인다. 상부 한계수심의 일반적인 분포는 대륙사면을 따라 깊게 나타나고 있으며, 7월과 같이 130° E 부근에서 남북방향으로 얇은 수심을 보이다 다시 외해역에서 깊어지는 경우와 11월처럼 울릉도 북동쪽에 얇은 수심을 보이는 경우로 구분되고 있다.

그림 4-13에서 그림 4-24사이에 음파통로의 두께 분포를 나타내었다. 음파통로의 두께는 음속의 수직 구조 형태에 따라 결정되는데 동해 남서부 해역에서는 임계심도가 총수심(해저수심)보다 커서 음파통로의 하부 한계는 해저가 되고 따라서 해저면의 반사손실에 따른 영향을 많이 받게 된다. 음파통로 두께는 일반적으로 400-2,000m이며 동해안 부근에서는 작고 외해로 감에 따라 대륙사면 부근에서 급격히 증가되고 있다. 1,800m 이상의 두께는 수심이 깊은 울릉도 동쪽과 남쪽에서 나타나며 독도 외해에서는 다시 작아지고 있다.

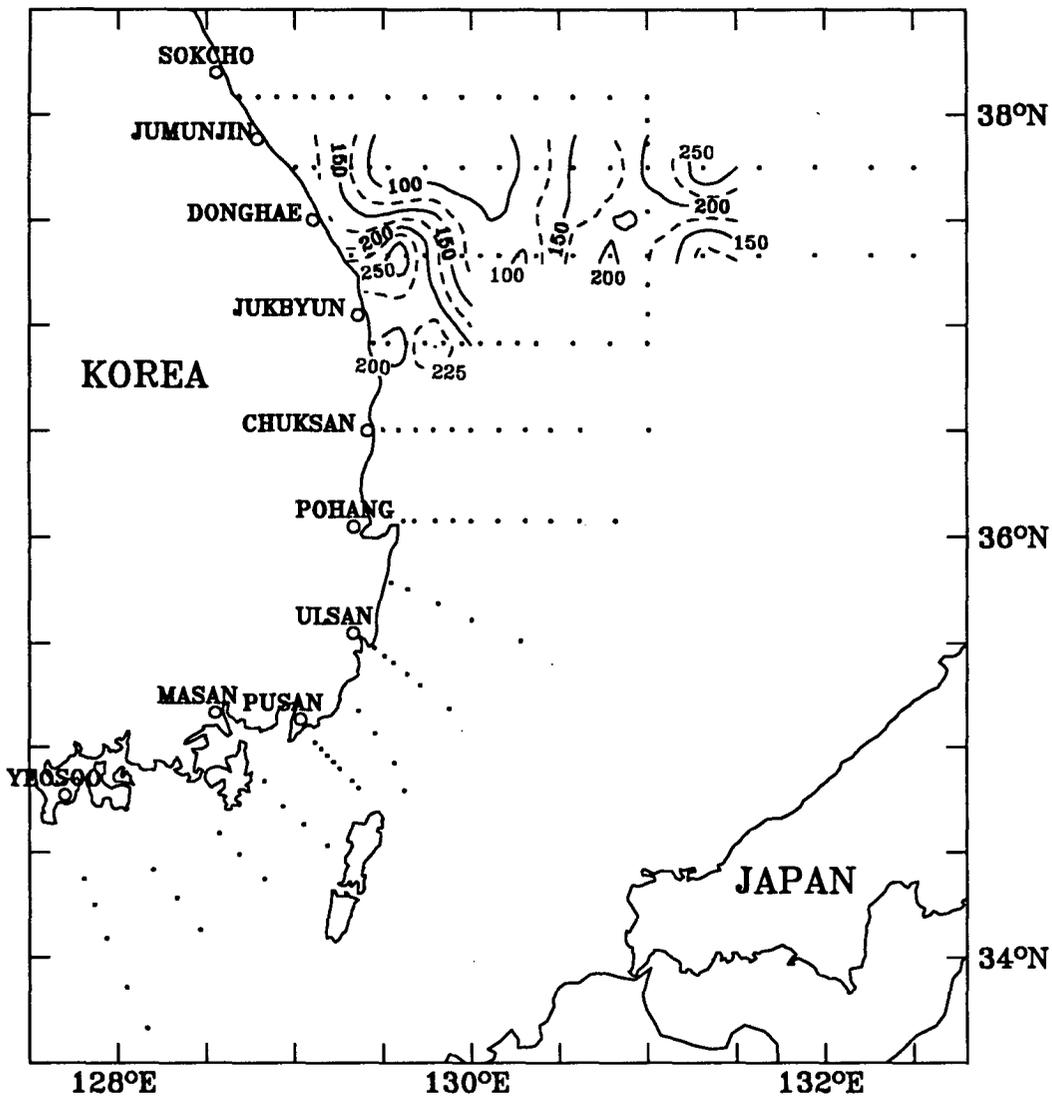


Fig. 4-1. Upper limit depth(m) of sound channel in January.

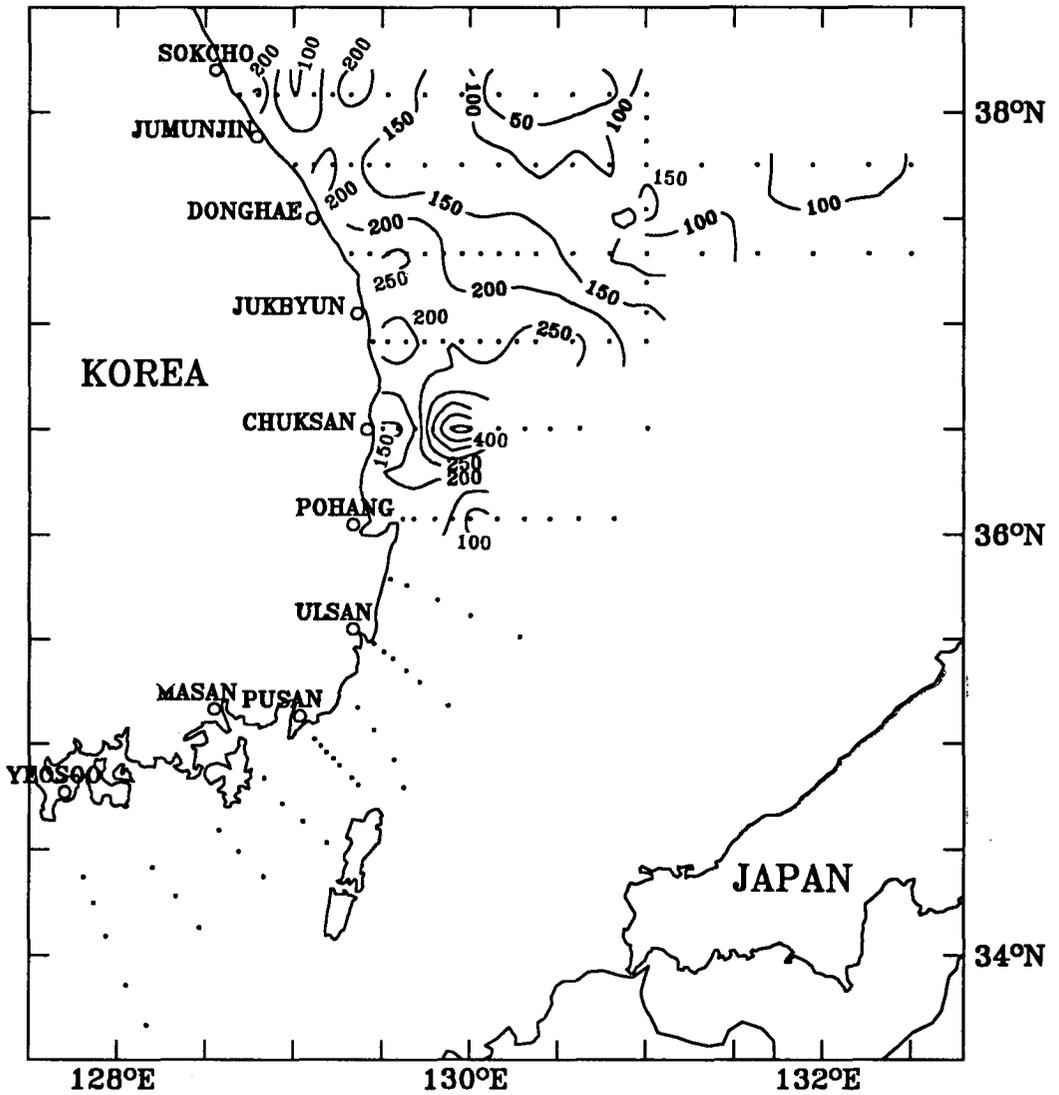


Fig. 4-2. Upper limit depth(m) of sound channel in February.

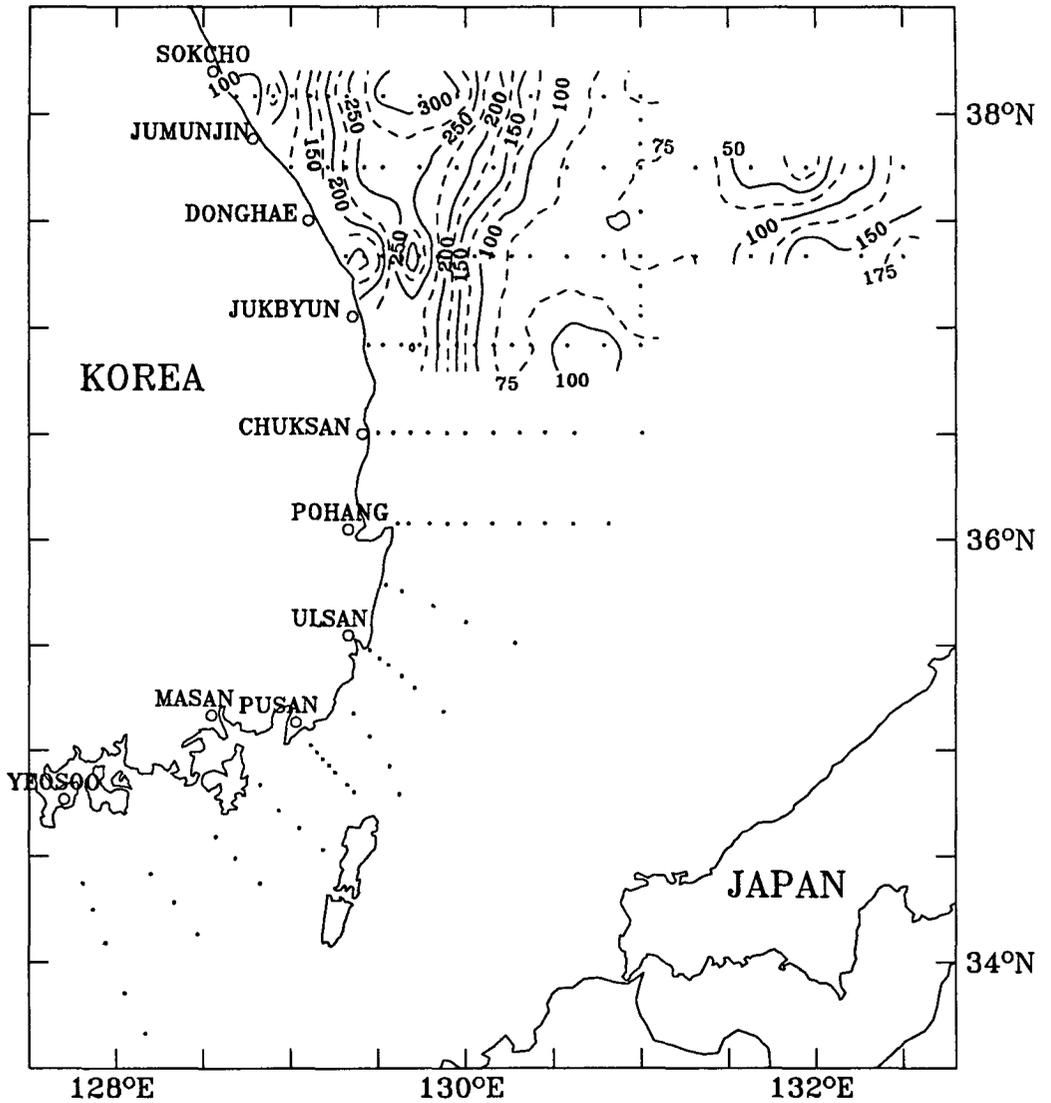


Fig. 4-3. Upper limit depth(m) of sound channel in March.

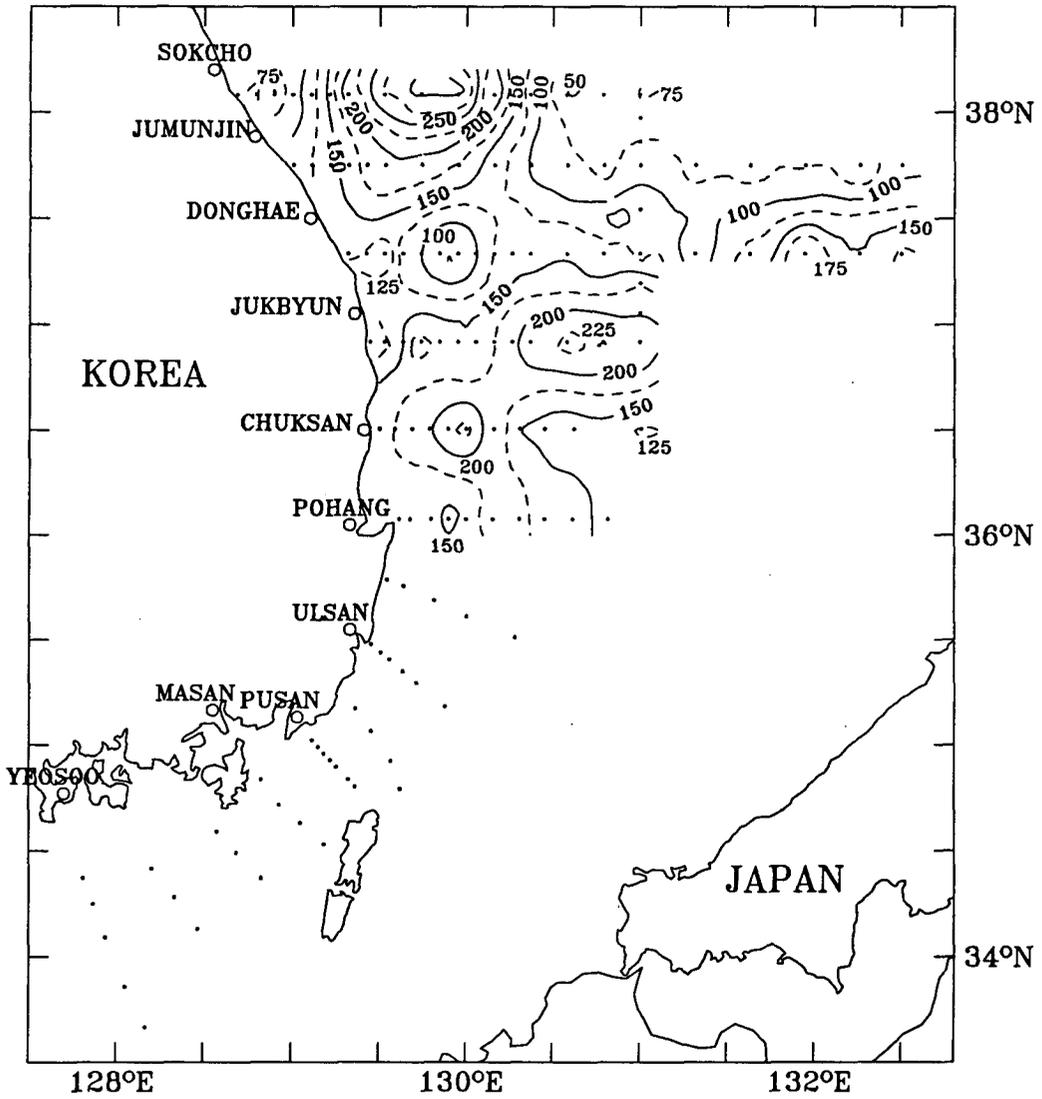


Fig. 4-5. Upper limit depth(m) of sound channel in May.

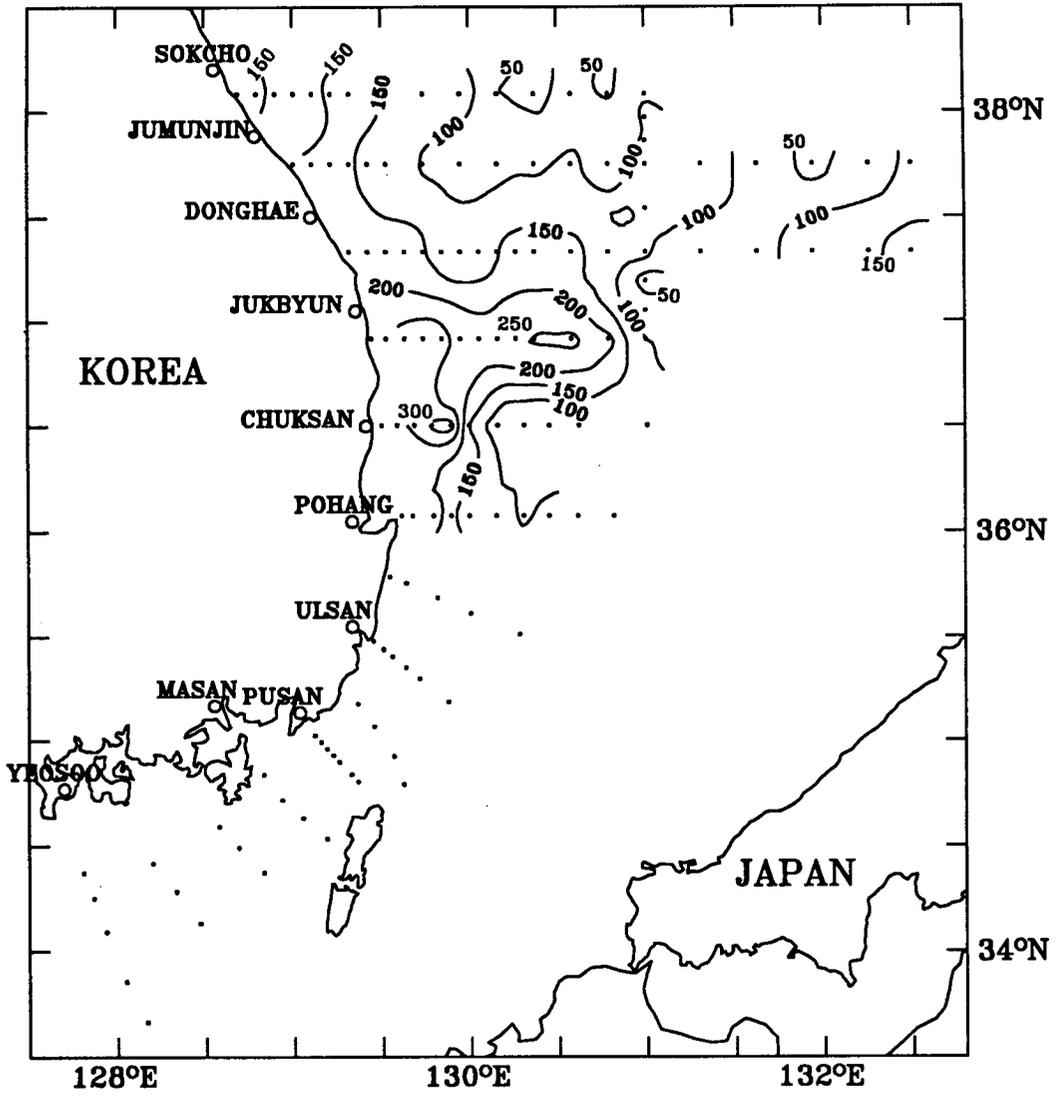


Fig. 4-4. Upper limit depth(m) of sound channel in April.

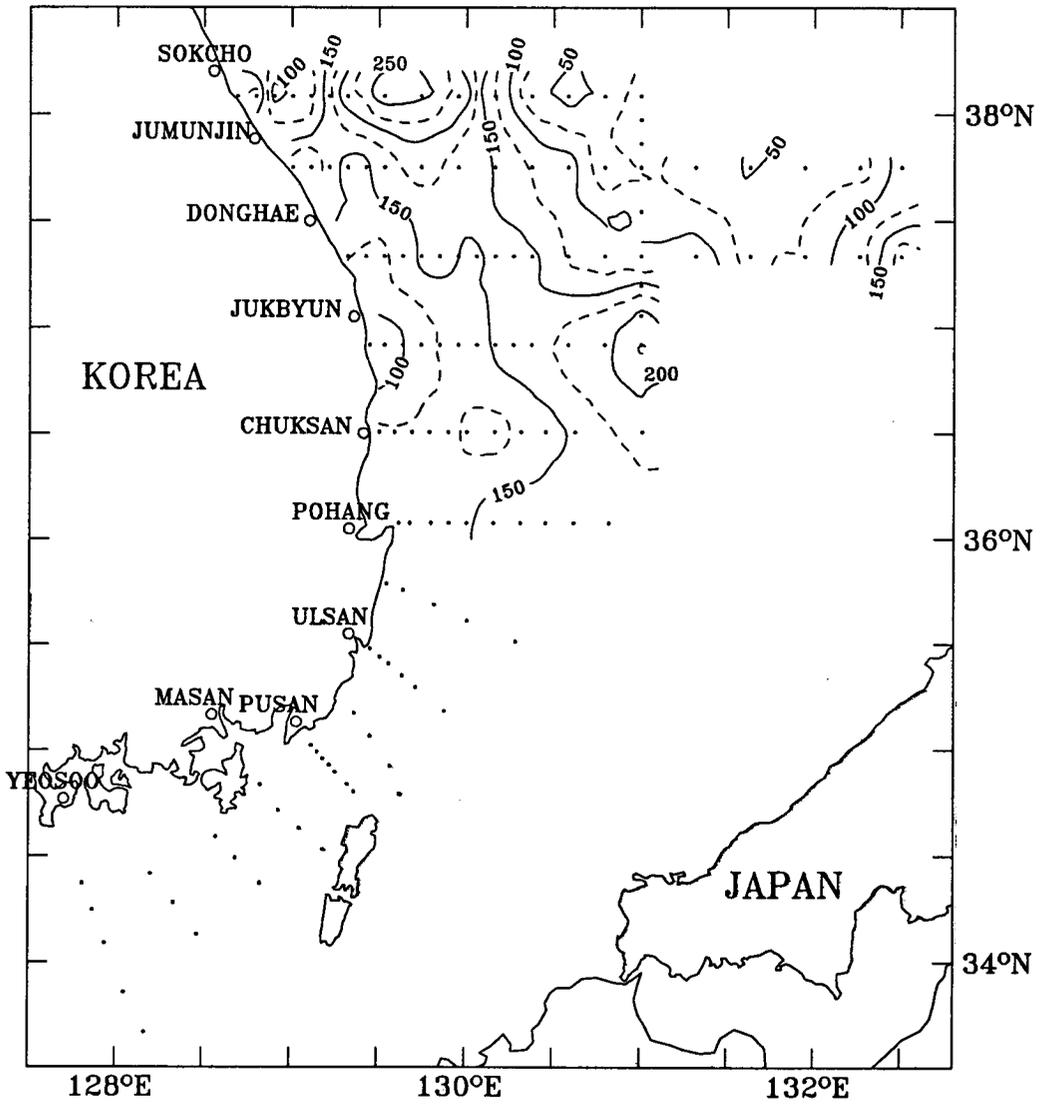


Fig. 4-6. Upper limit depth(m) of sound channel in June.

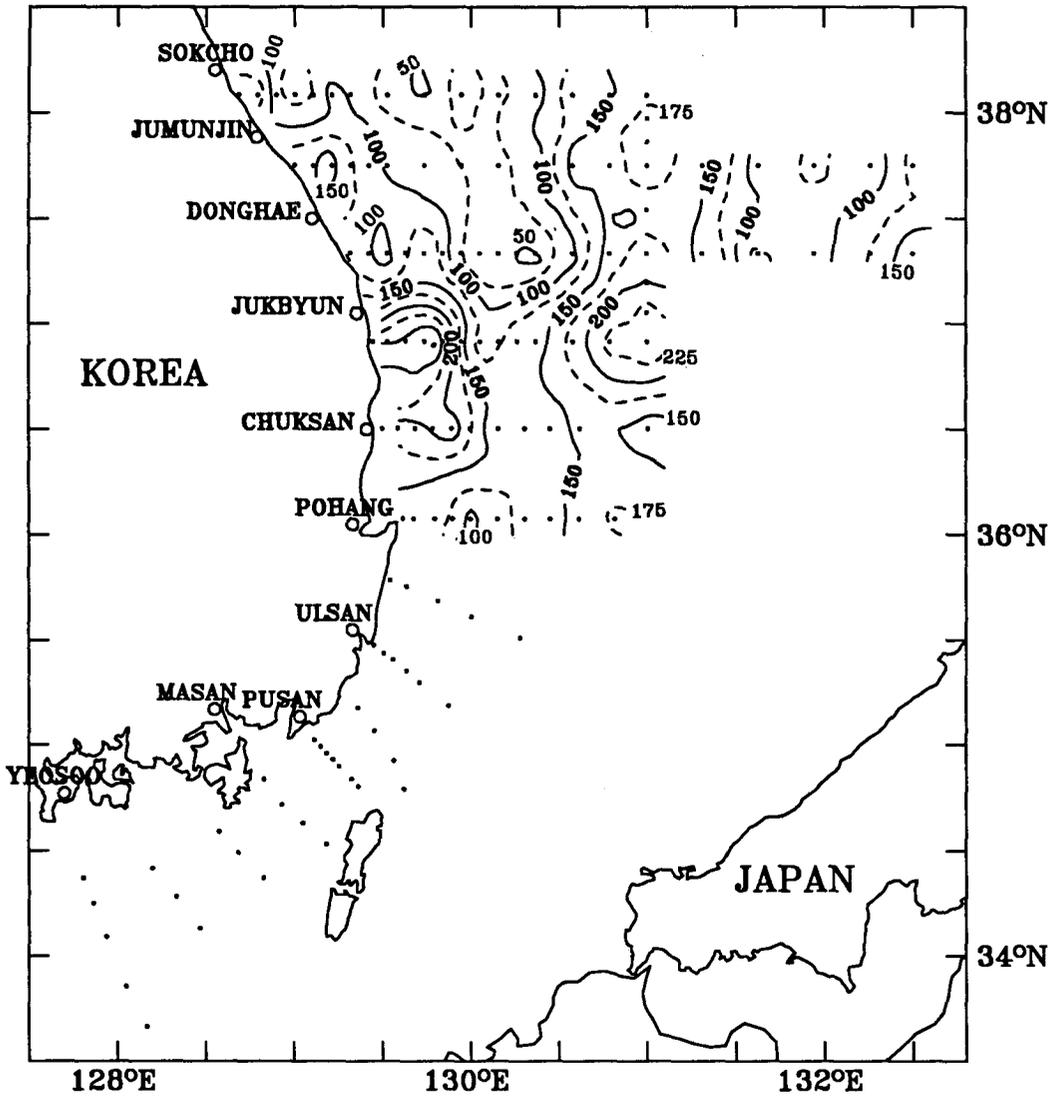


Fig. 4-7. Upper limit depth(m) of sound channel in July.

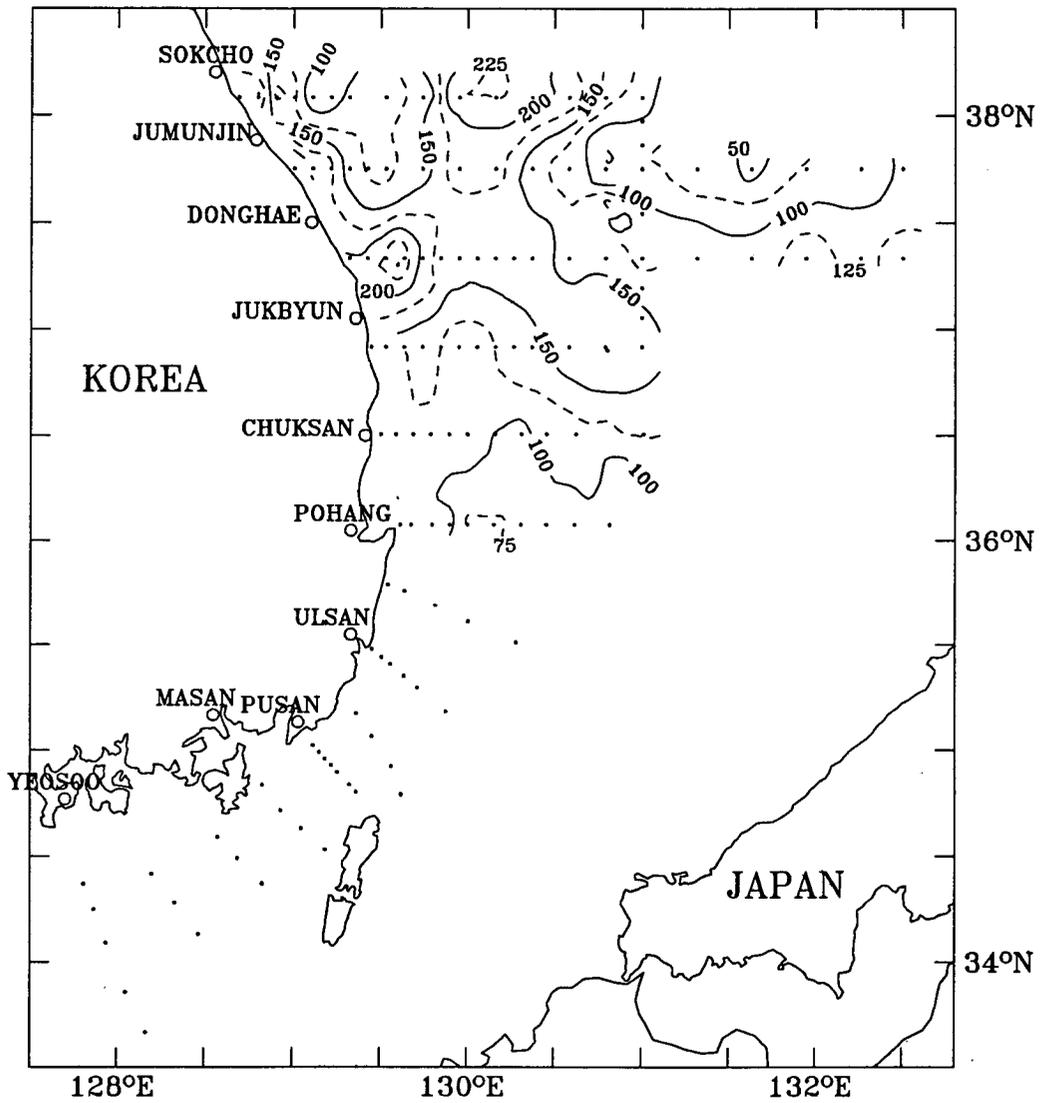


Fig. 4-8. Upper limit depth(m) of sound channel in August.

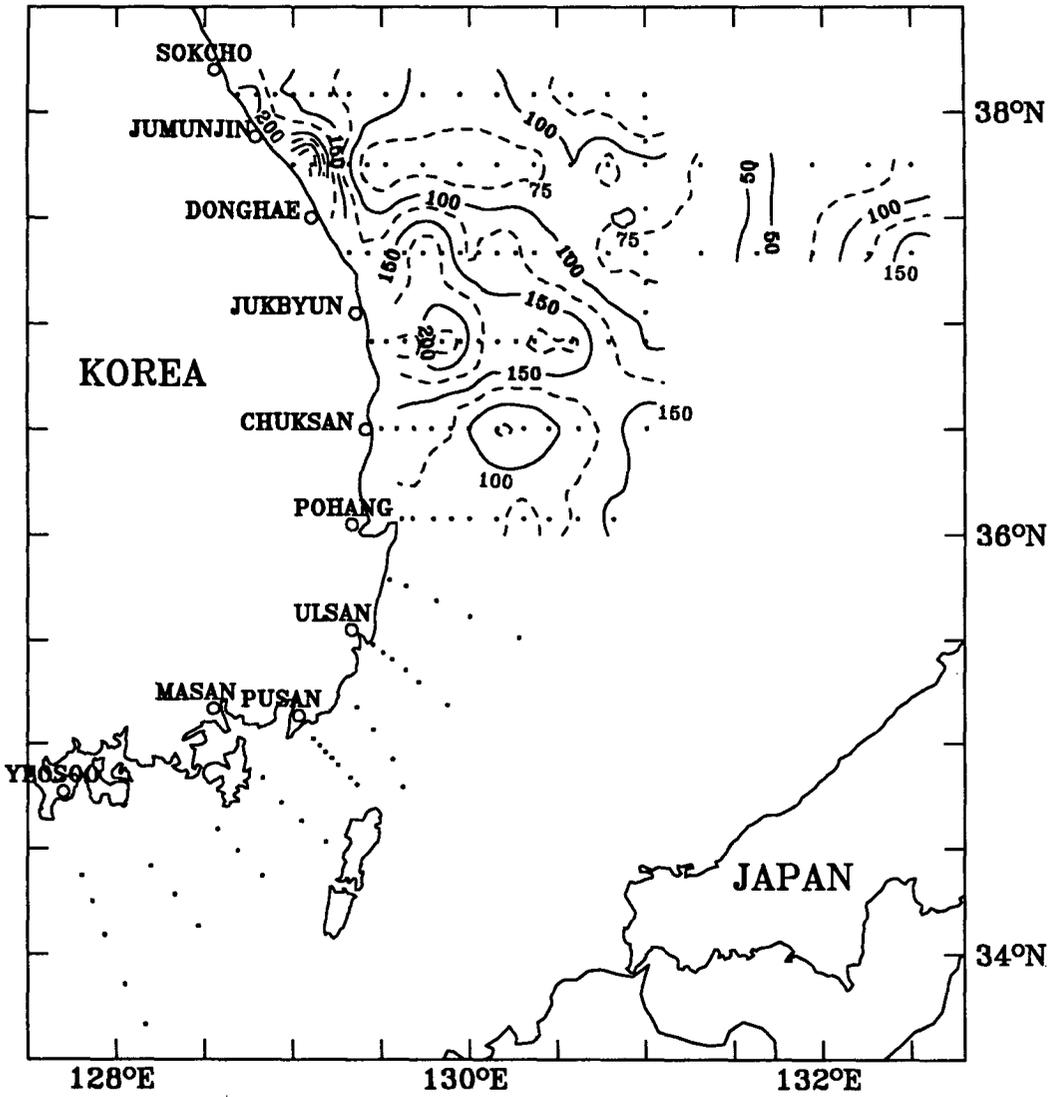


Fig. 4-9. Upper limit depth(m) of sound channel in September.

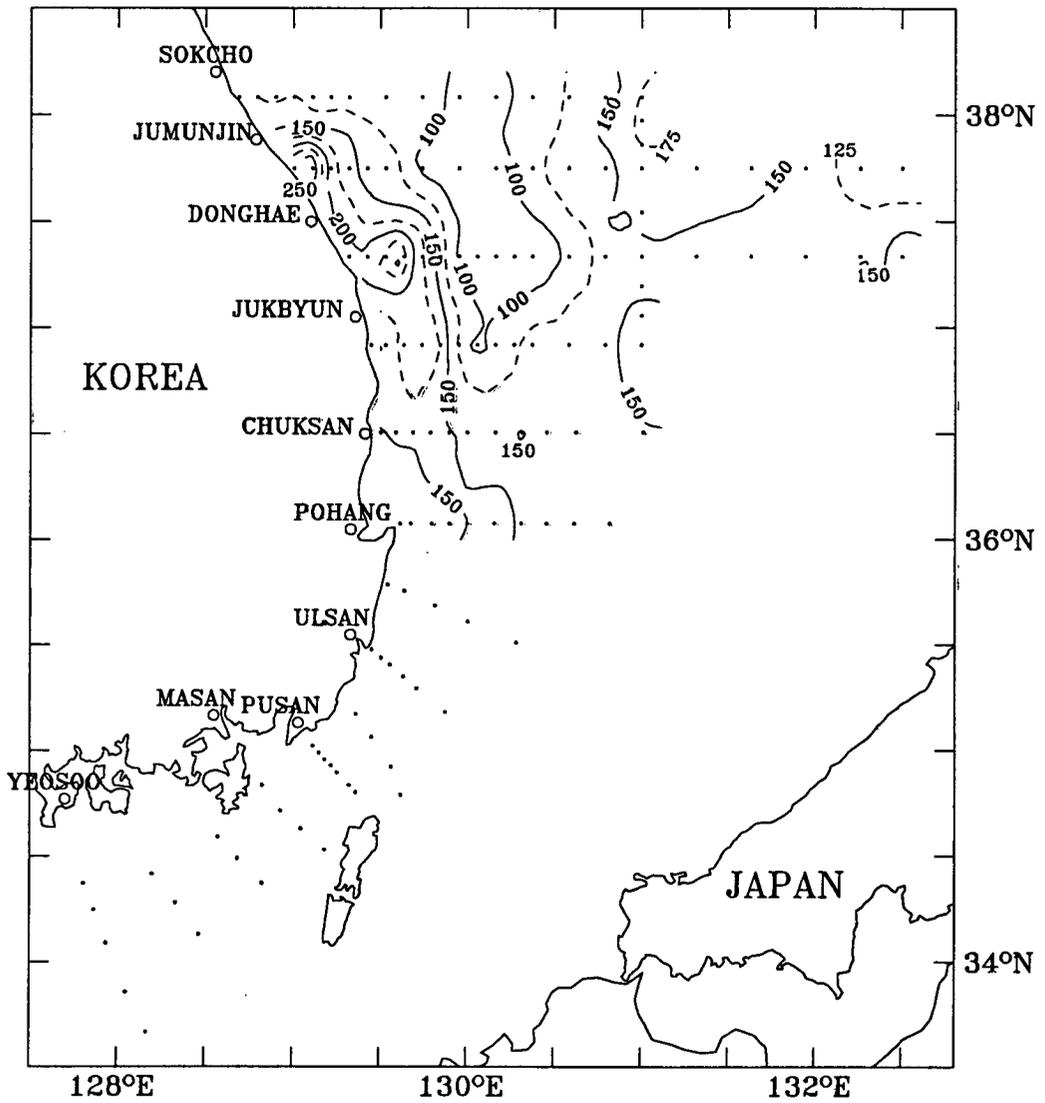


Fig. 4-10. Upper limit depth(m) of sound channel in October.

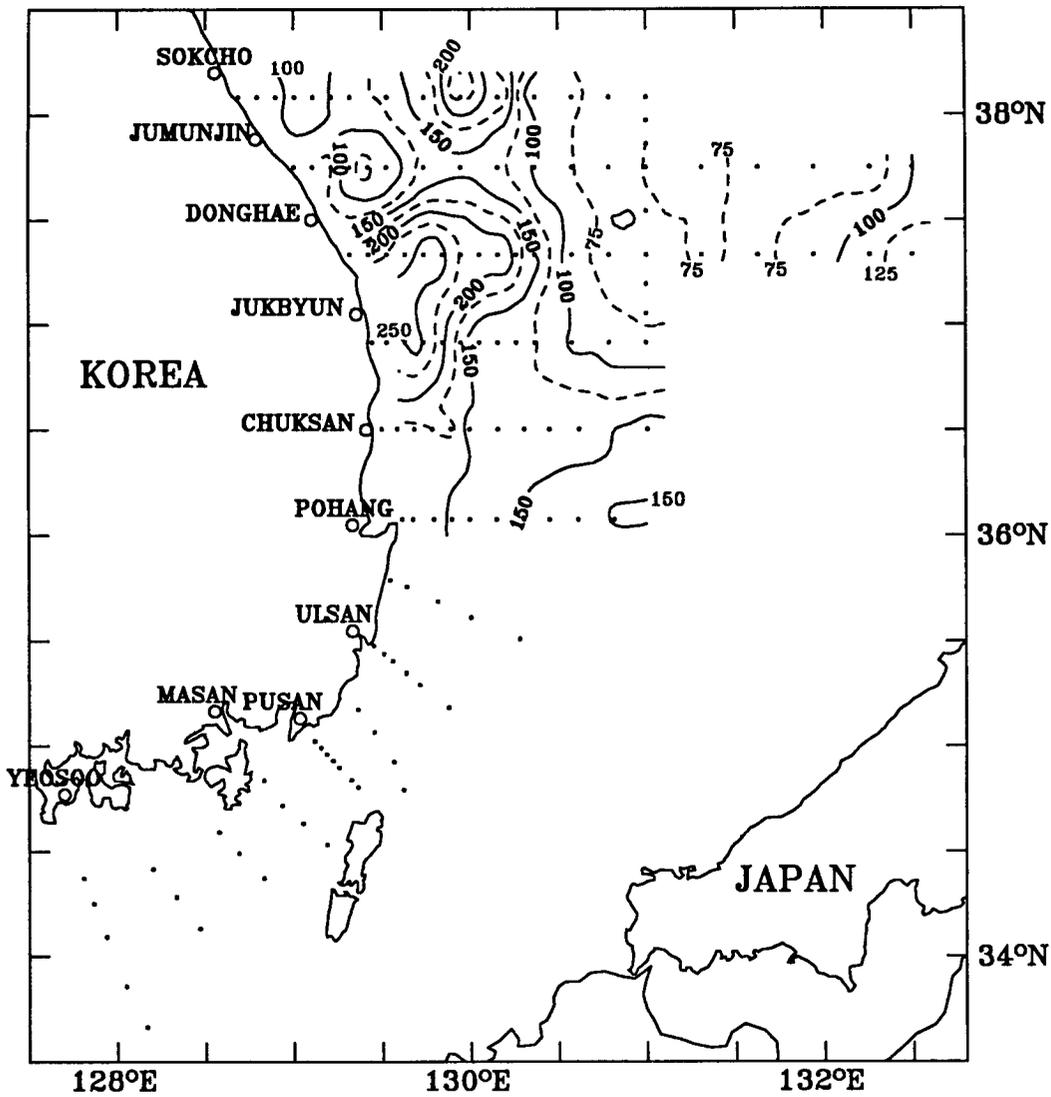


Fig. 4-11. Upper limit depth(m) of sound channel in November.

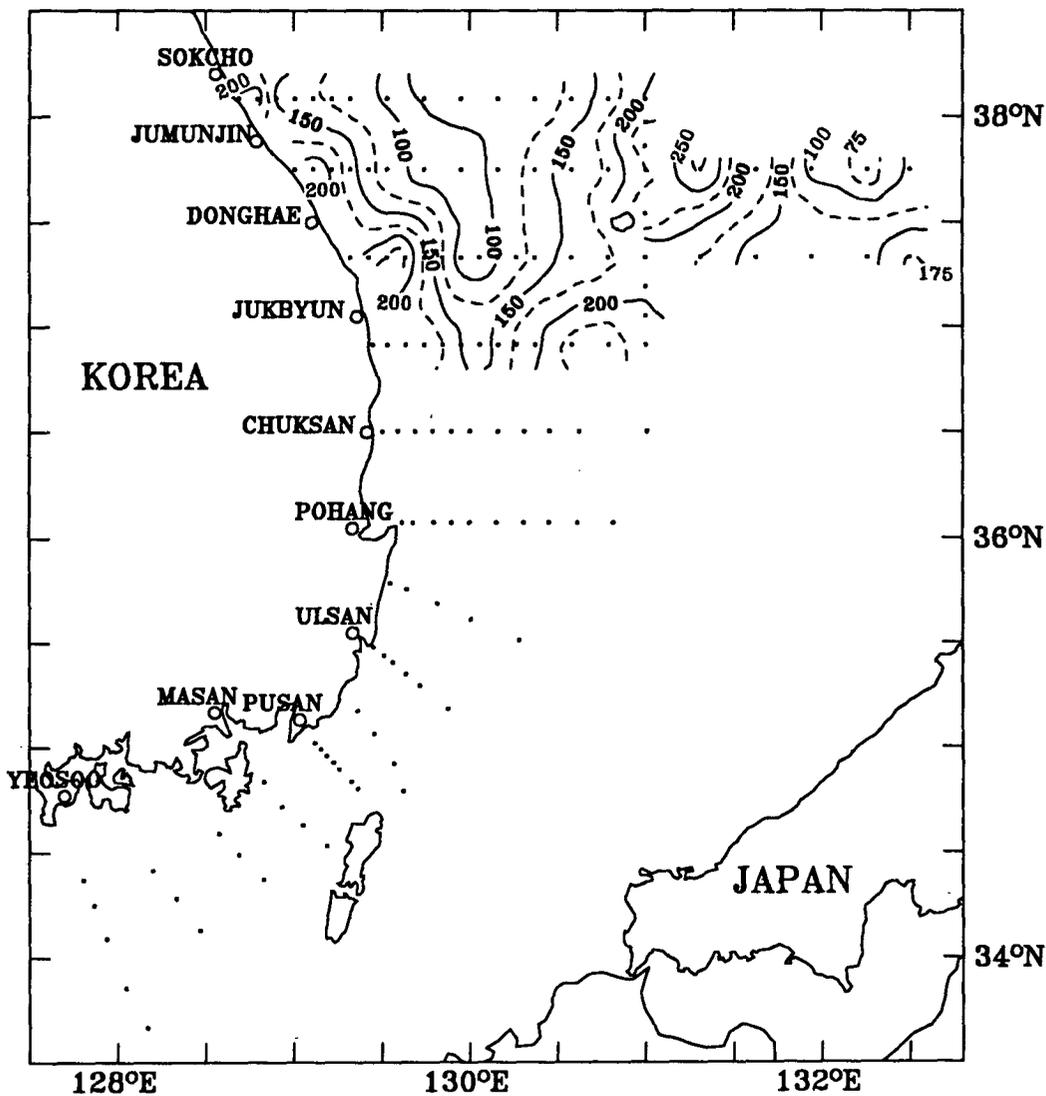


Fig. 4-12. Upper limit depth(m) of sound channel in December.

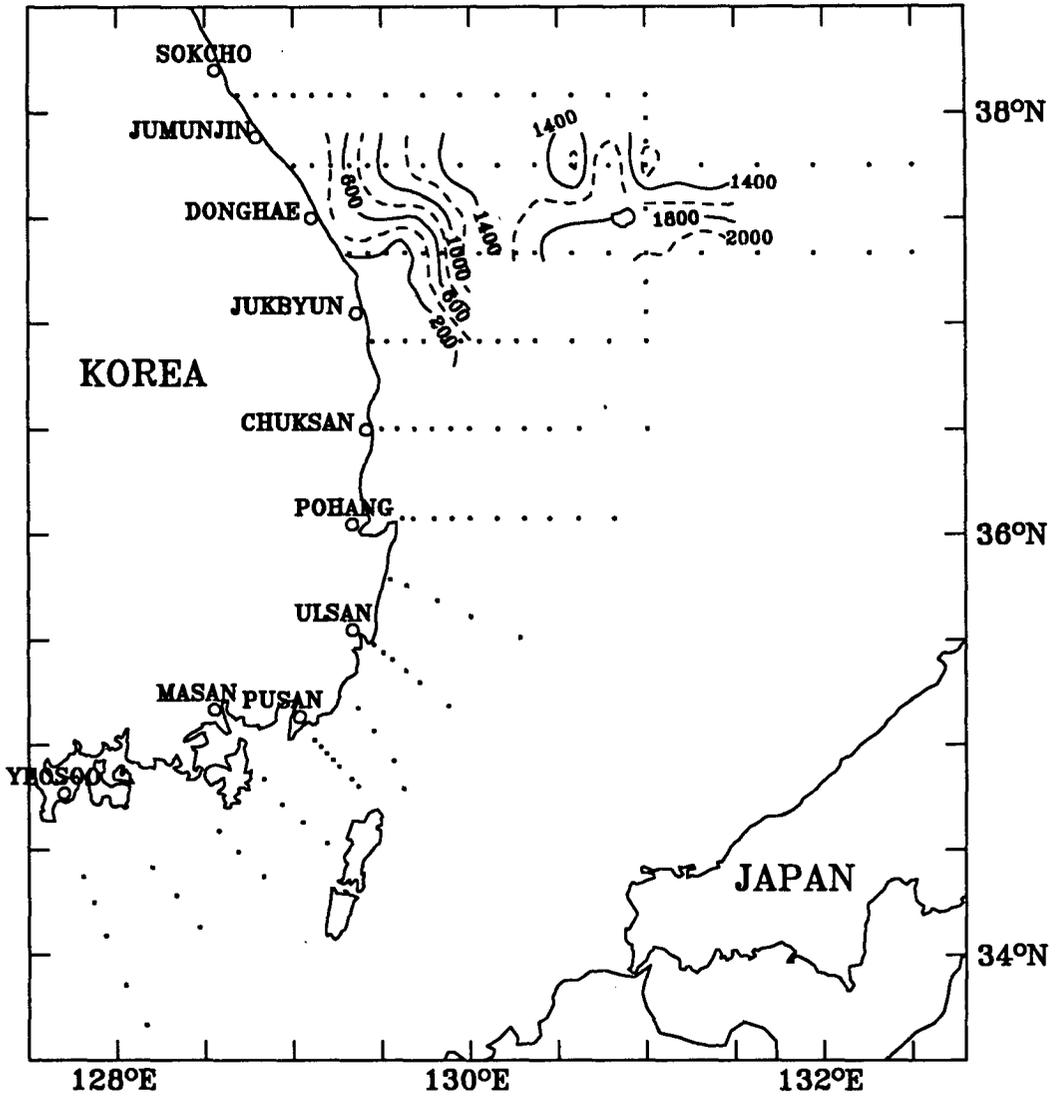


Fig. 4-13. Thickness(m) of sound channel in January.

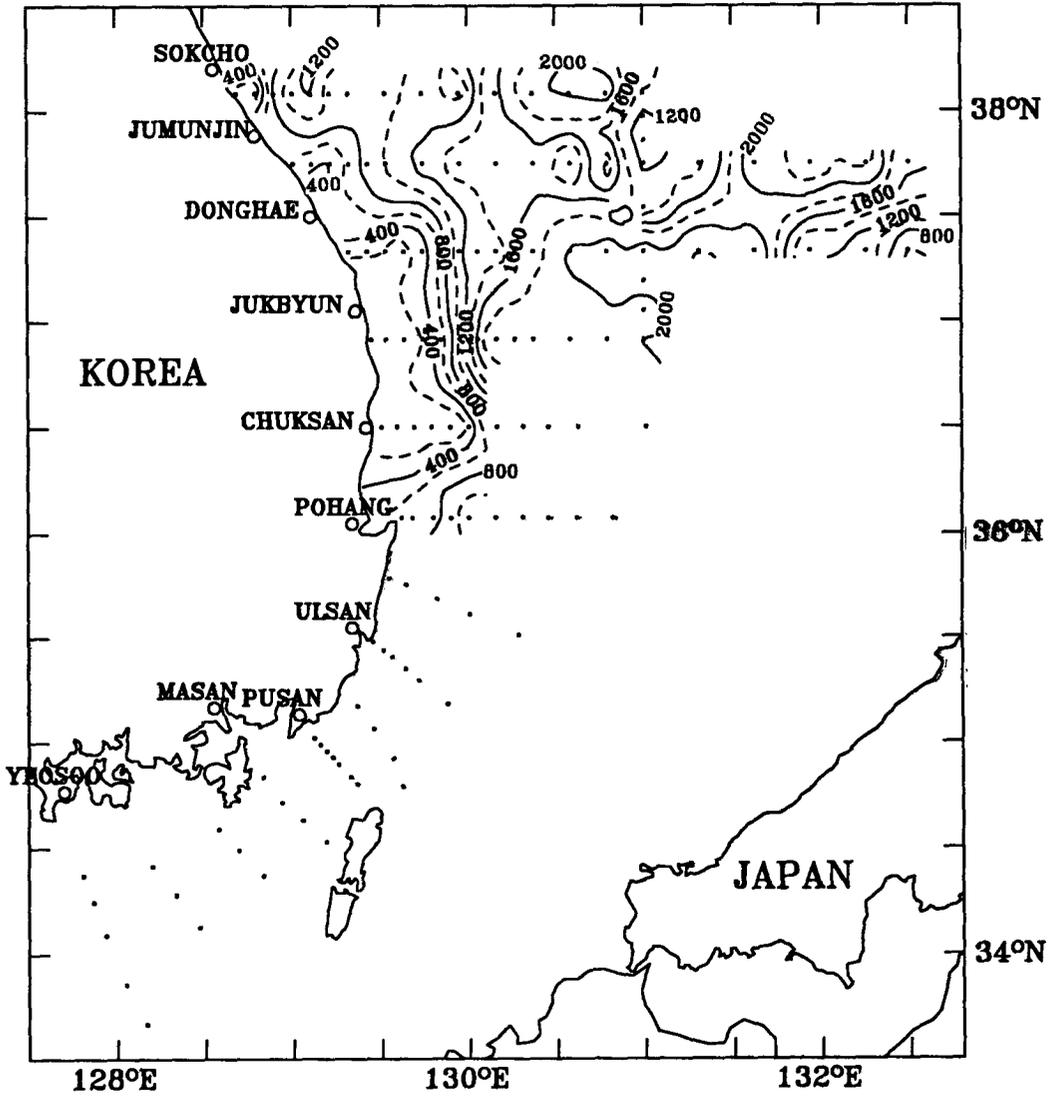


Fig. 4-14. Thickness(m) of sound channel in February.

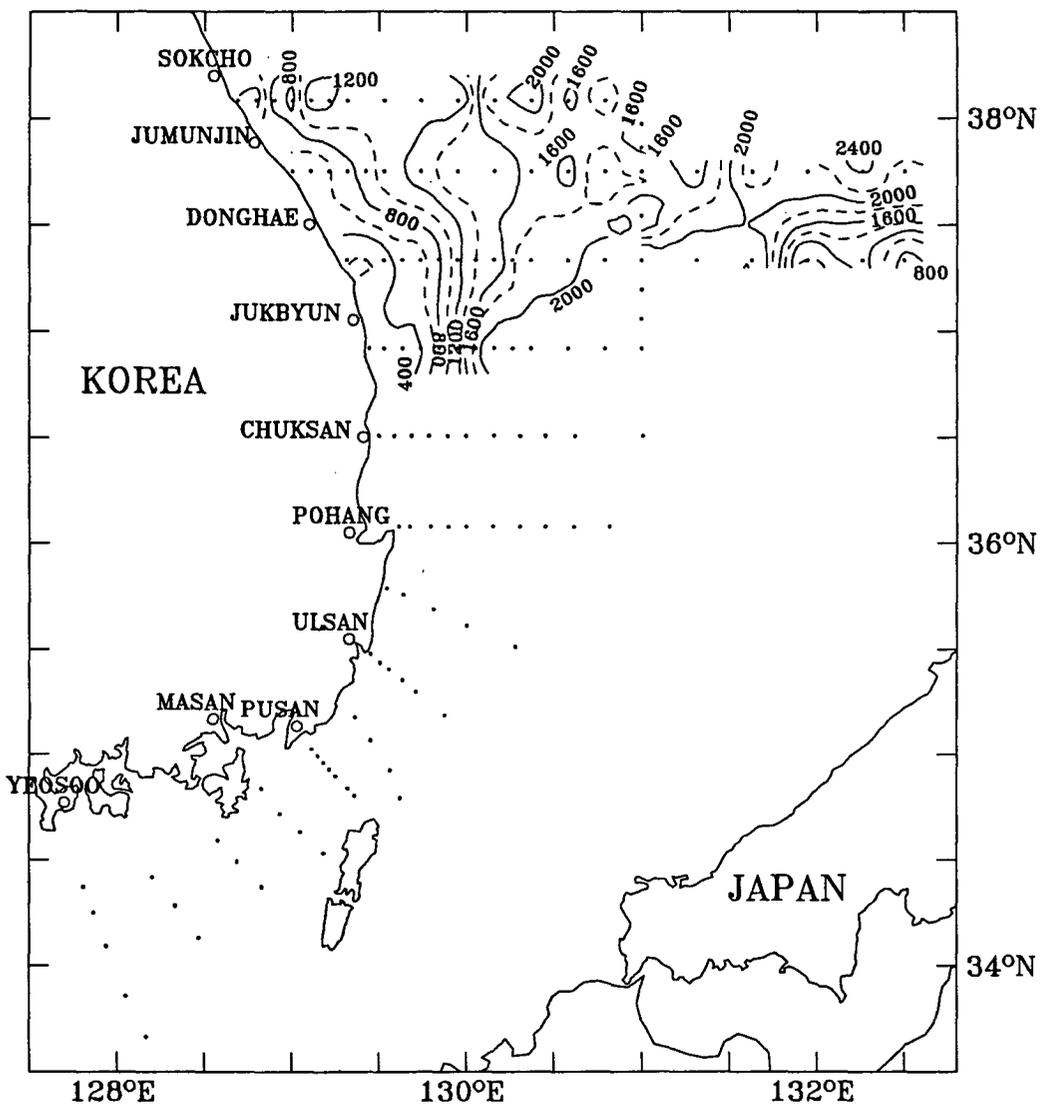


Fig. 4-15. Thickness(m) of sound channel in March.

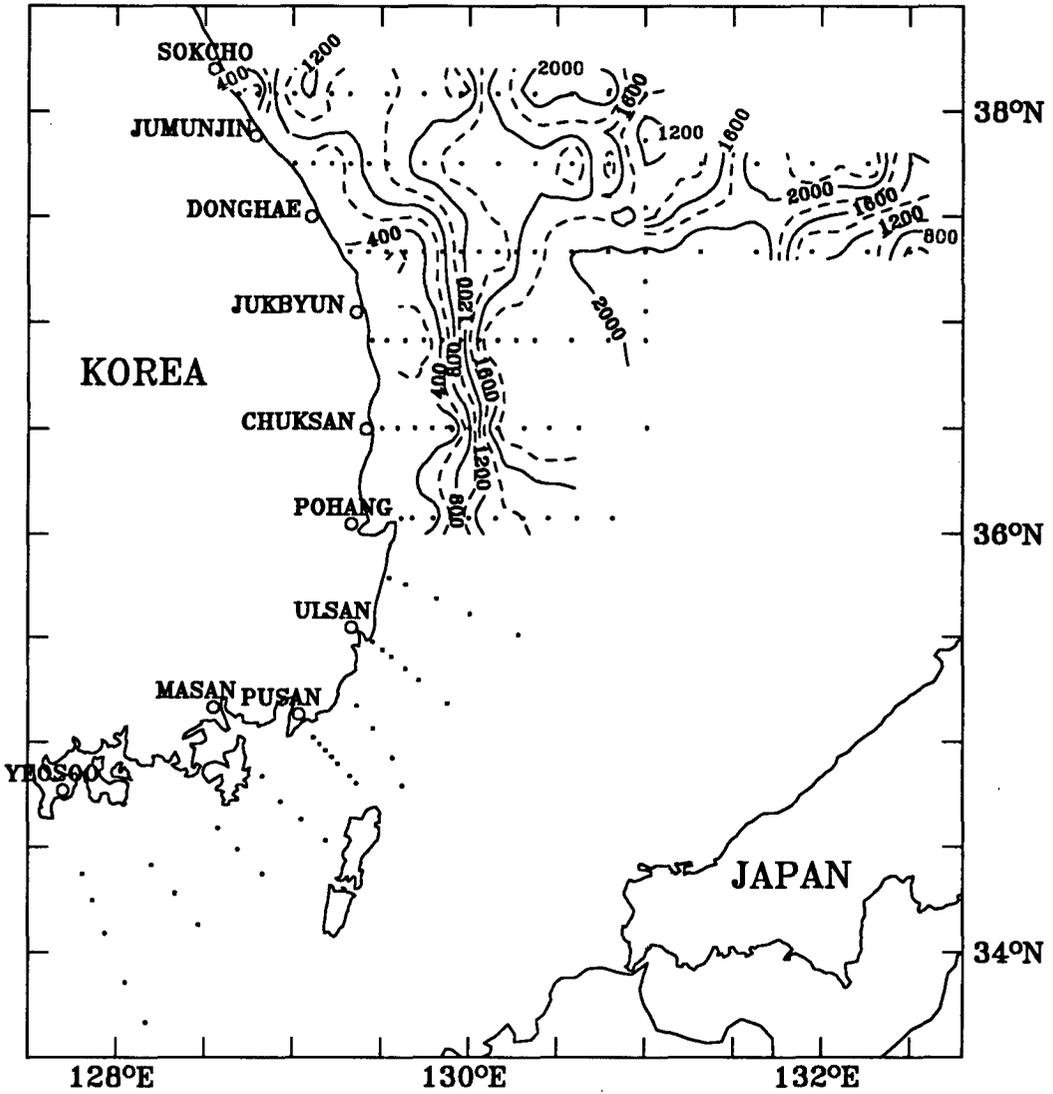


Fig. 4-16. Thickness(m) of sound channel in April.

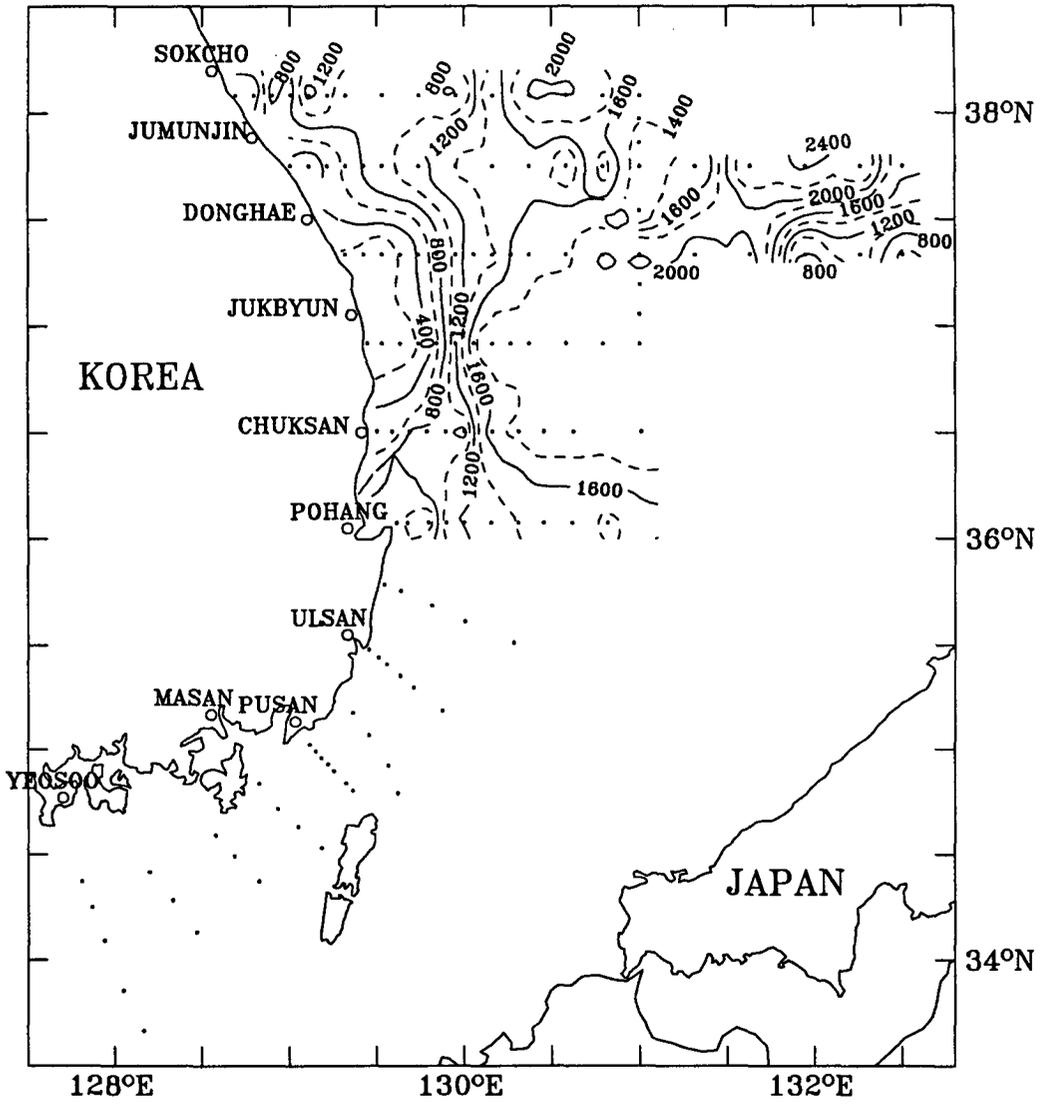


Fig. 4-17. Thickness(m) of sound channel in May.

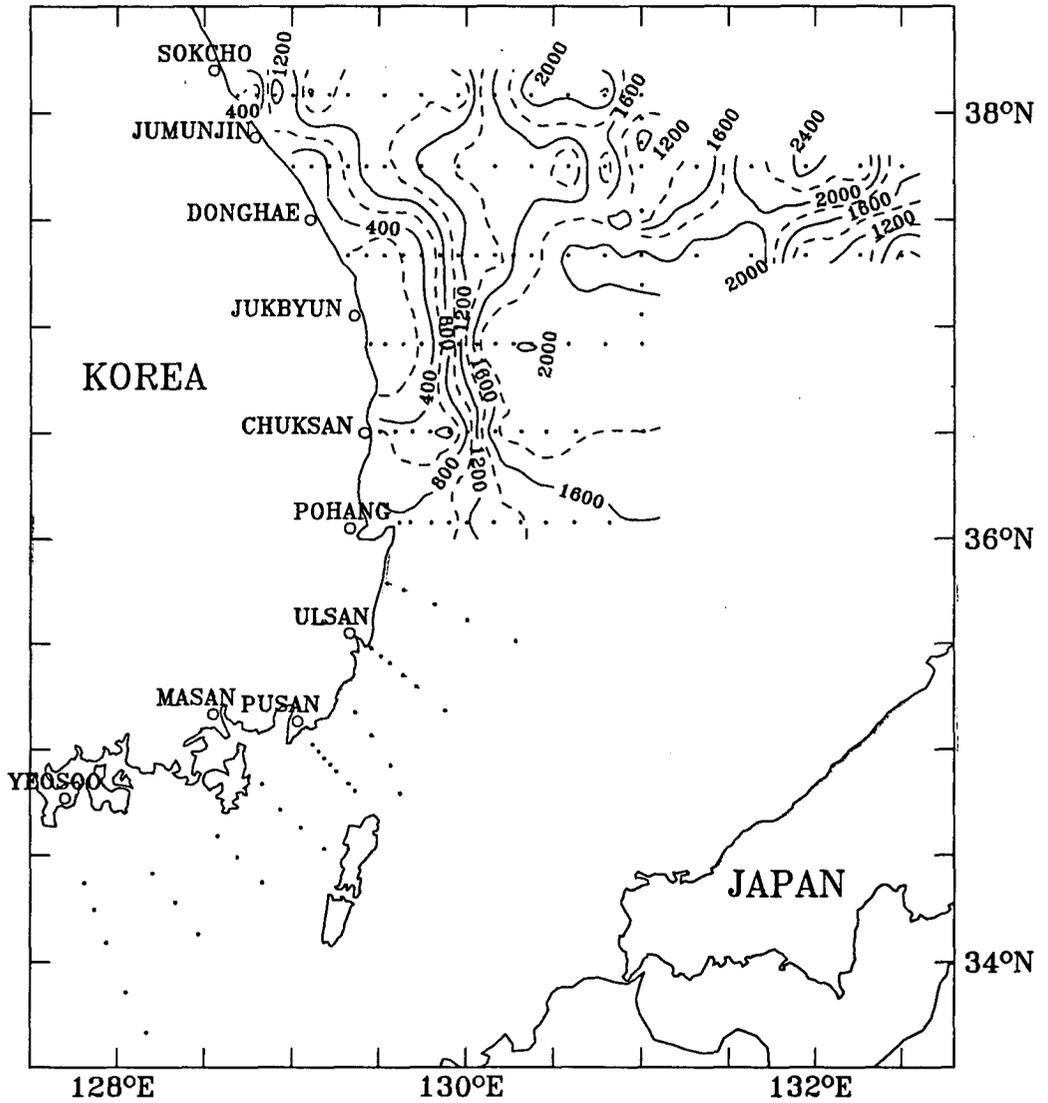


Fig. 4-18. Thickness(m) of sound channel in June.

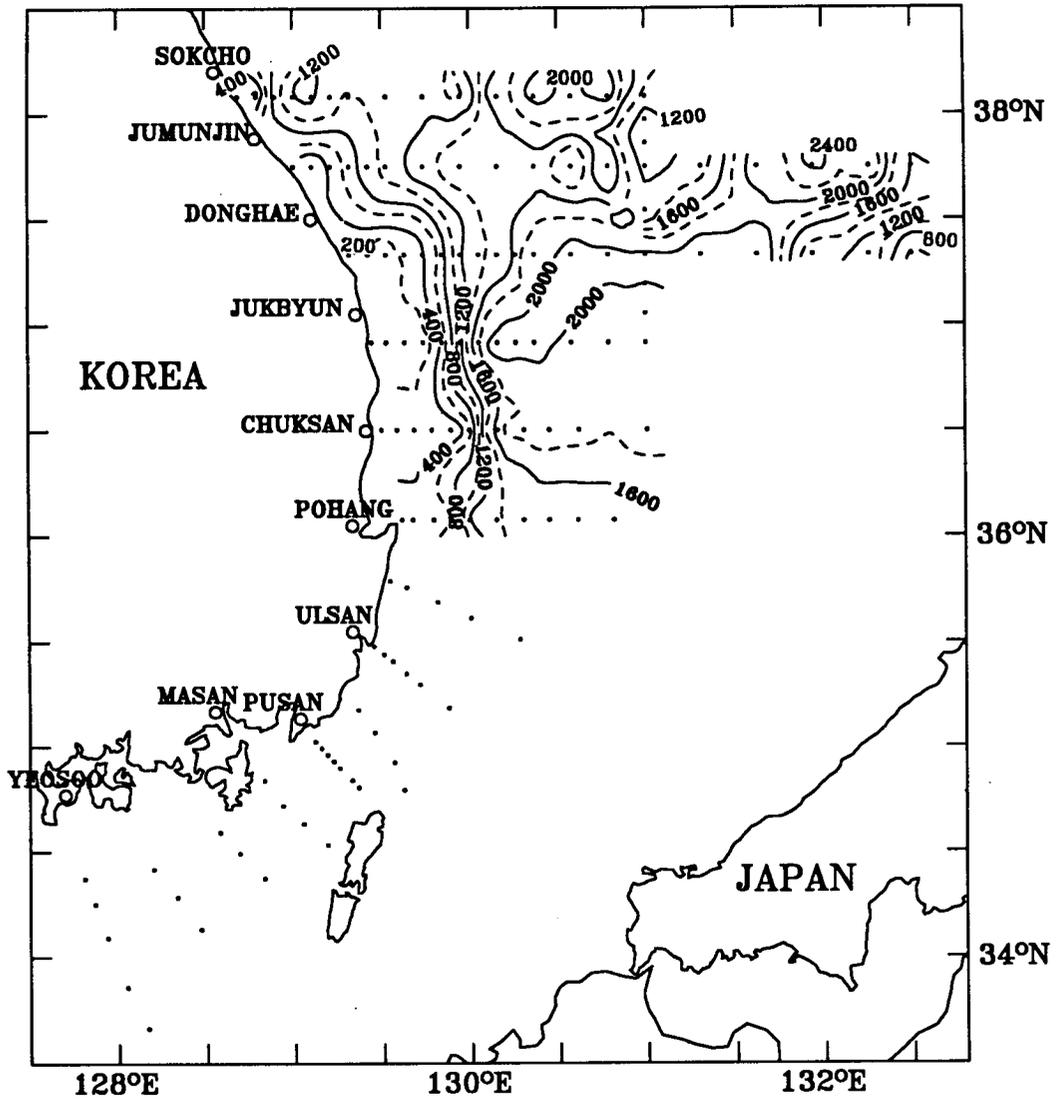


Fig. 4-19. Thickness(m) of sound channel in July.

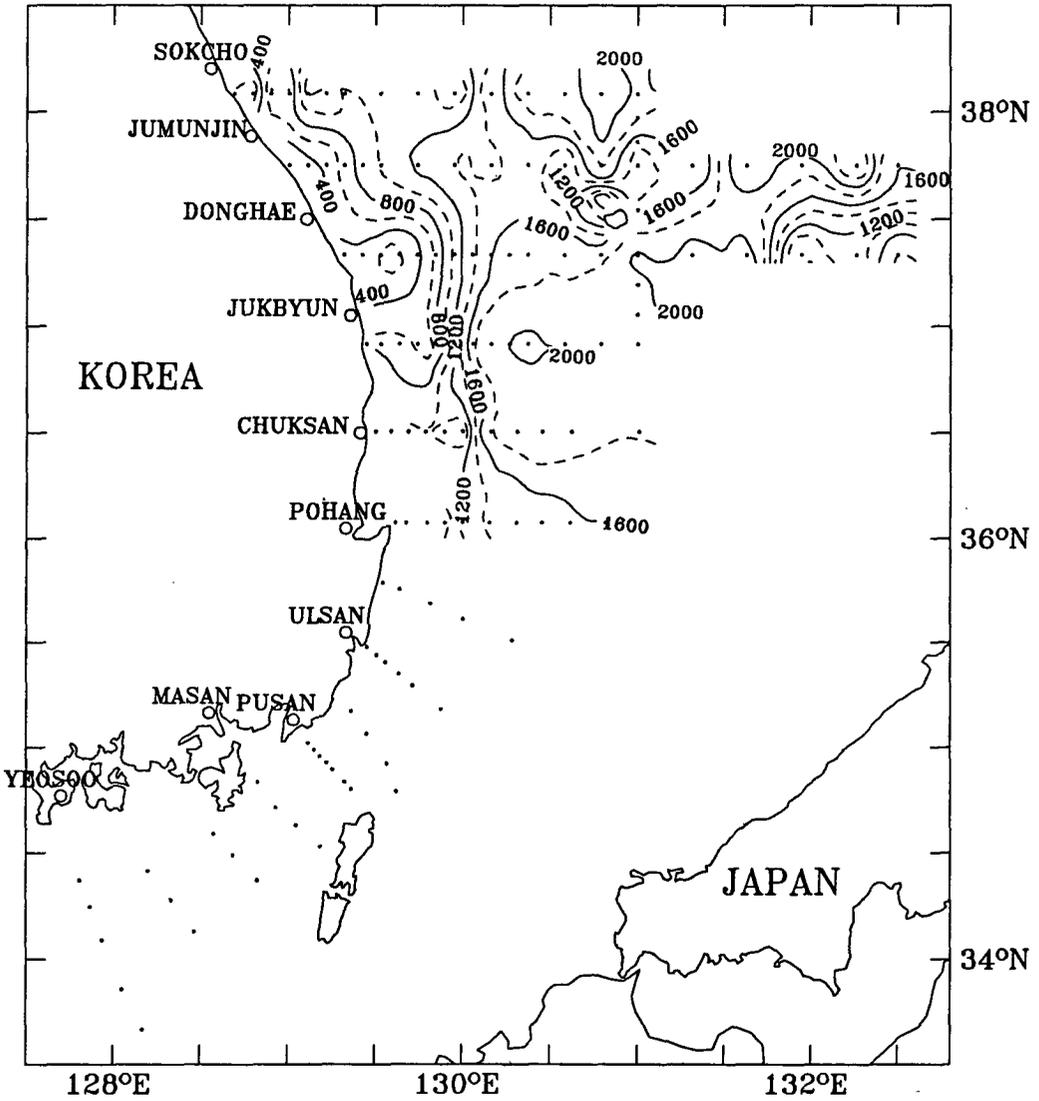


Fig. 4-20. Thickness(m) of sound channel in August.

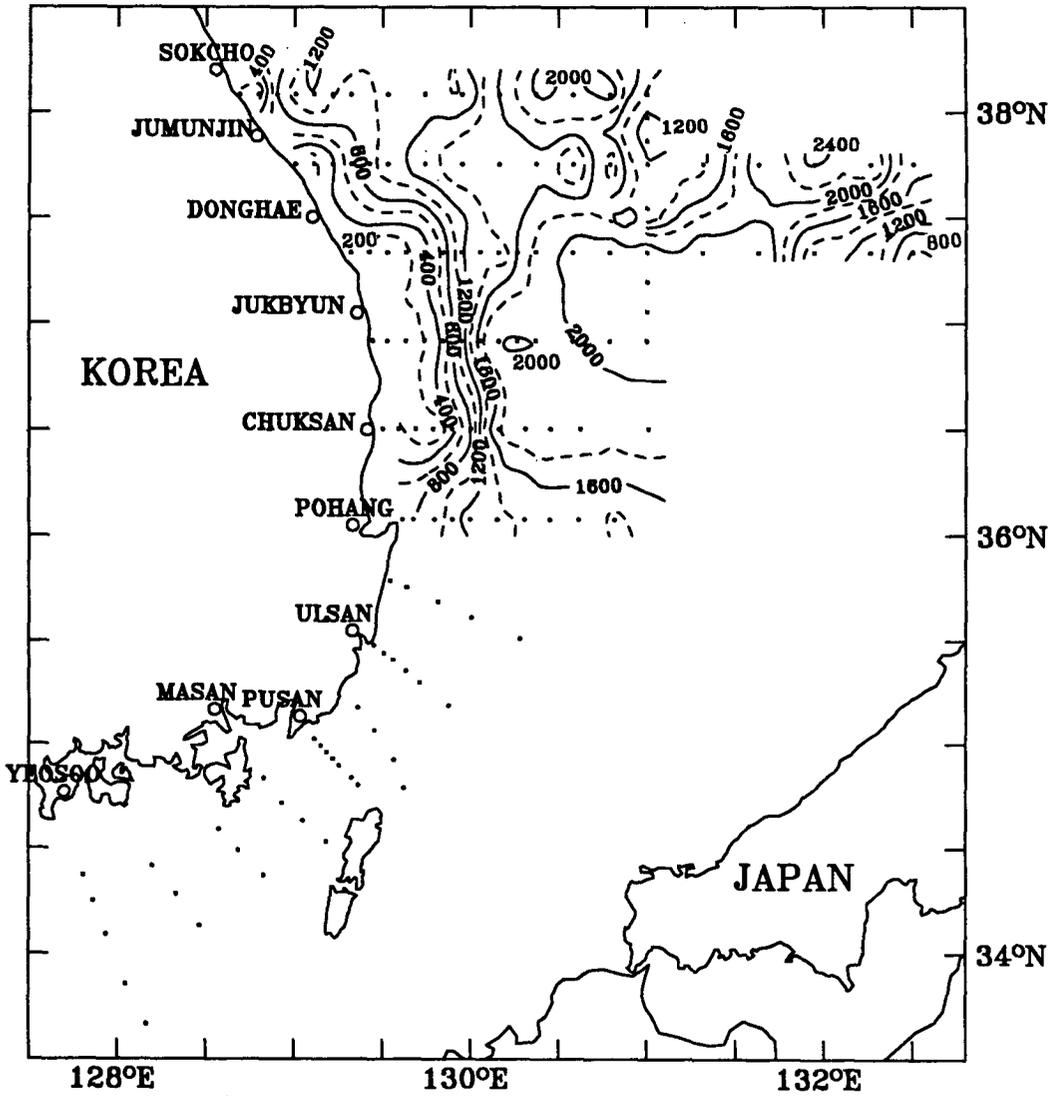


Fig. 4-21. Thickness(m) of sound channel in September.

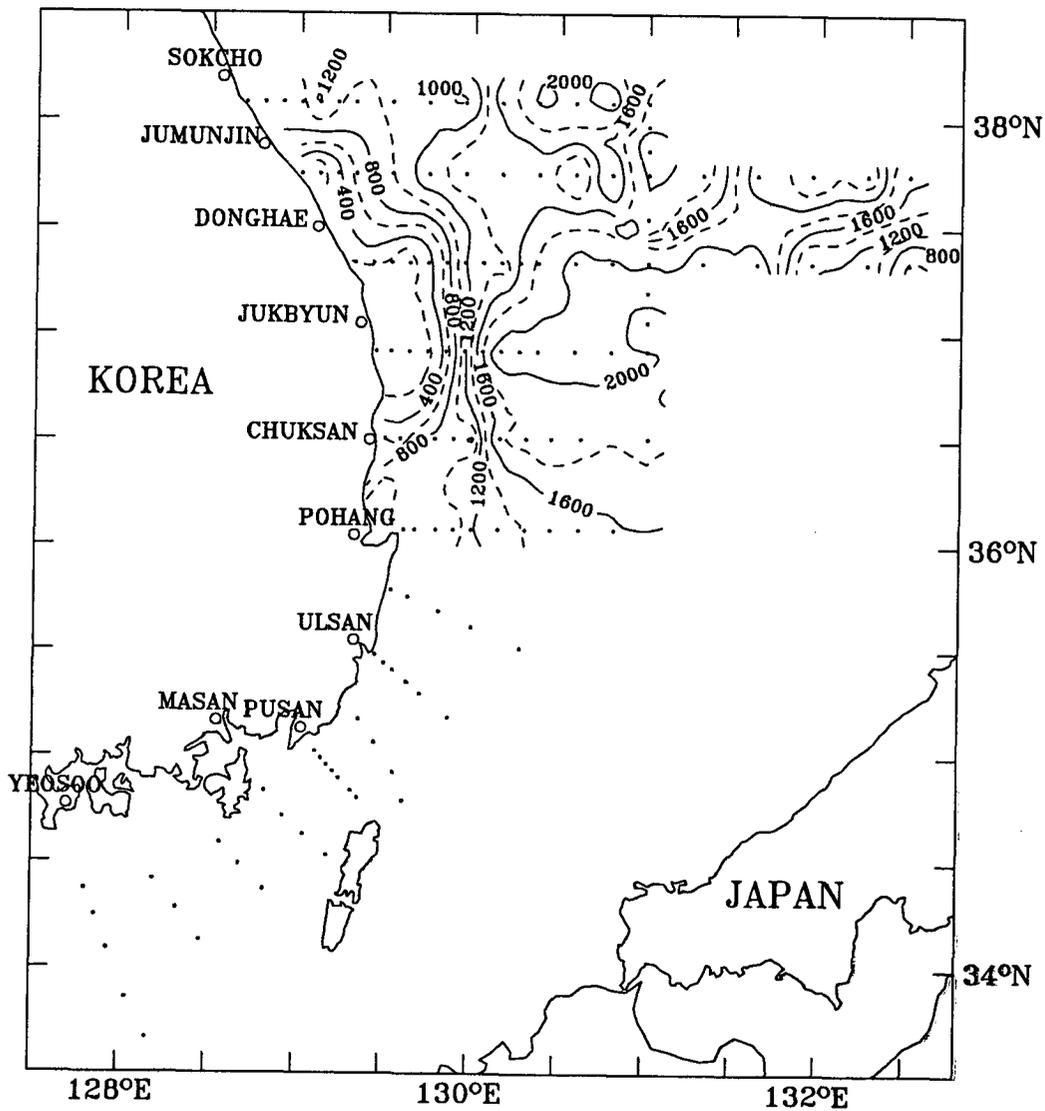


Fig. 4-22. Thickness(m) of sound channel in October.

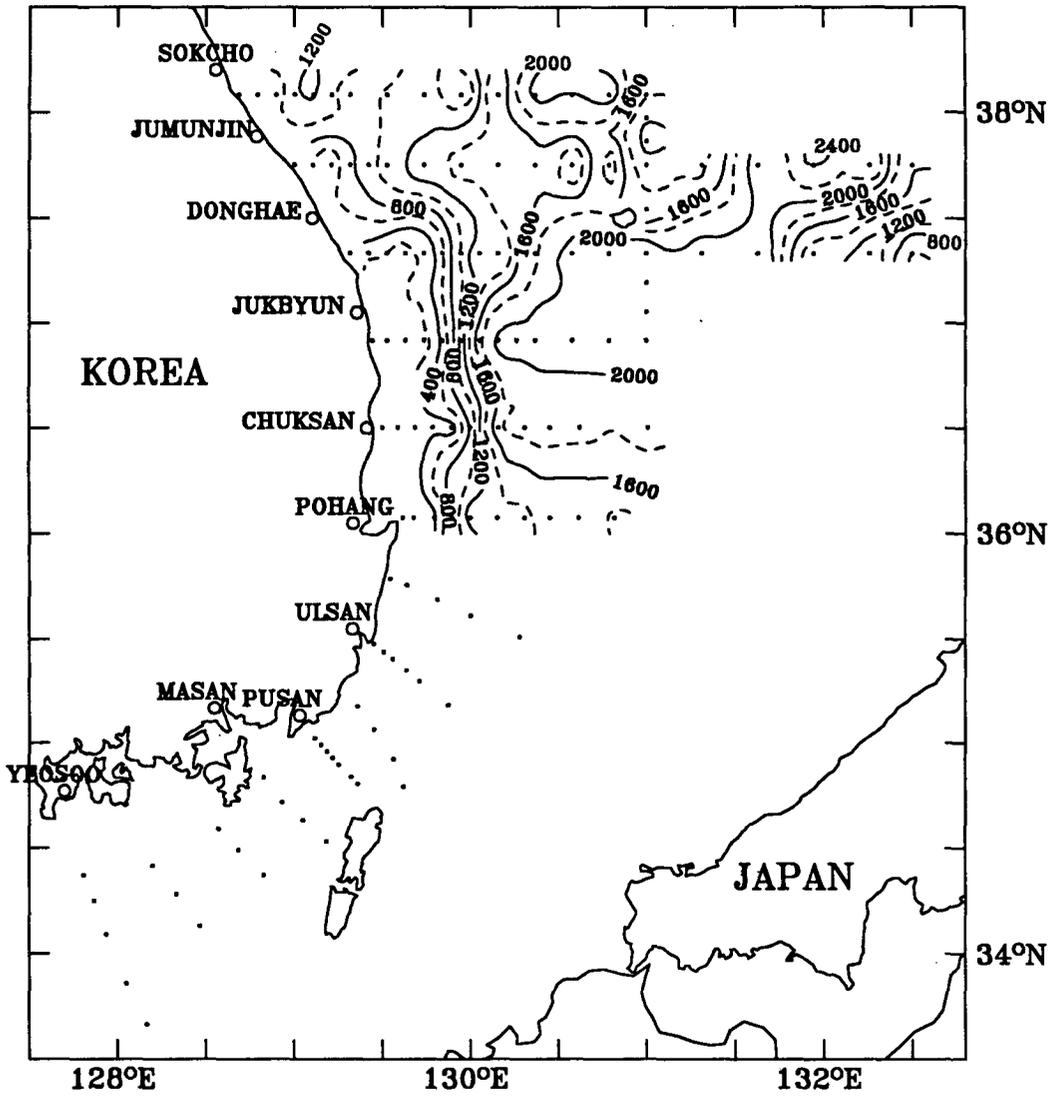


Fig. 4-23. Thickness(m) of sound channel in November.

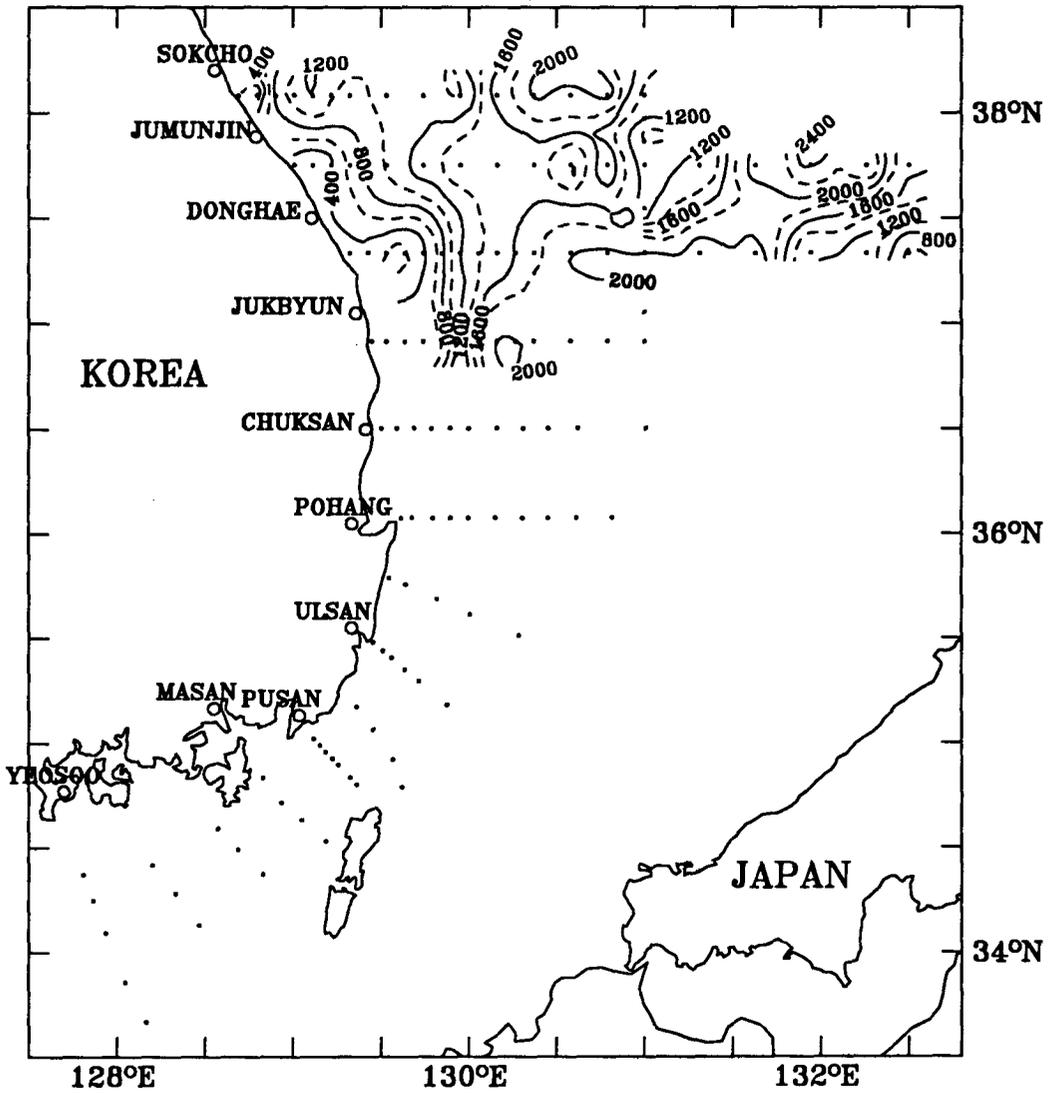


Fig. 4-24. Thickness(m) of sound channel in December.

제 5 장 음속최소층에서의 수온, 염분 및 음속 분포

그림 5-1부터 그림 5-12사이에 음속최소층에서 관측된 월별 수온분포를 나타내었다. 이 해역에서는 대한해협을 통해 남으로부터 유입되는 고온 고염인 동한난류수가 해표면으로부터 수심 약 200m 이내의 표층에 분포하고 그 이심에서는 수온이 거의 일정한 동해중간수를 포함한 동해고유수가 존재하기 때문에 수심 300-400m에 위치한 음속최소층에서의 수온변화는 매우 적다. 전체적으로는 0.5-1.0°C 의 수온이 분포하고, 등온선의 방향은 해안선에 평행한 남북방향이 우세하게 나타나고 있다. 연안쪽에서 외해로 갈에 따라 수온이 낮아져 울릉도 부근 해역에서는 0.7°C 이하가 나타나고 있는데 연안 가까이에서 수온이 특히 높게 나타나고 있는 원인은 음속최소층의 수심이 깊지 않아 고온의 표층수 영향을 받고 있기 때문이라 생각된다.

음속최소층에서 관측된 염분의 월별 분포를 그림 5-13부터 그림 5-24에 나타내었다. 전체적으로는 34.02-34.12‰ 사이의 염분분포를 보이고 있으며 그 변화 범위가 0.1‰ 정도로 매우 좁게 나타나고 있다. 울릉도 부근의 외해에 비하여 연안해역과 36.5° N 이남의 남쪽해역에서 염분치가 낮게 나타나고 36.5° -37° N 사이에서는 염분변화가 특히 심하게 나타나고 있다. 그러나 사용된 관측장비(Neil Brown사, MK III B)의 정밀도가 $\pm 0.005\%$ 로서 소숫점이하 2째자리까지 밖에 신뢰성이 없으며, 더욱이 현장관측시 실제 생길 수 있는 보정오차를 고려한다면 소숫점 이하 2째자리의 변화를 명확히 구분하는 것은 이곳에서는 가능하지 않다. 따라서 염분변화폭을 분석하는데 각별한 주의가 요구된다.

그림 5-25부터 그림 5-36은 음속최소층에서의 월별 음속분포도이다. 전체적으로는 음속변화가 매우 작아서 1,455m/s에서 1,460m/s사이에 분포하고 특히 10월의 경우 1,455-1,458m/s로 다른 관측월보다 변화폭이 좁게 나타났다. 속초앞 38° N, 130

° E 부근에서는 3월과 5월에 1,460m/s 이상의 음속최소치가 반원 형태로 보이며 울릉도 남서쪽 측면 동쪽의 해역에서는 7월과 9월에 1,459m/s 이상의 음속최소치가 원형으로 보이고 있다. 이것은 이 해역에 존재하였던 난수성 소용돌이의 영향이며 난수성 소용돌이와 같은 해황변동이 음속최소 분포에 큰 영향을 미치고 있음을 보여준다

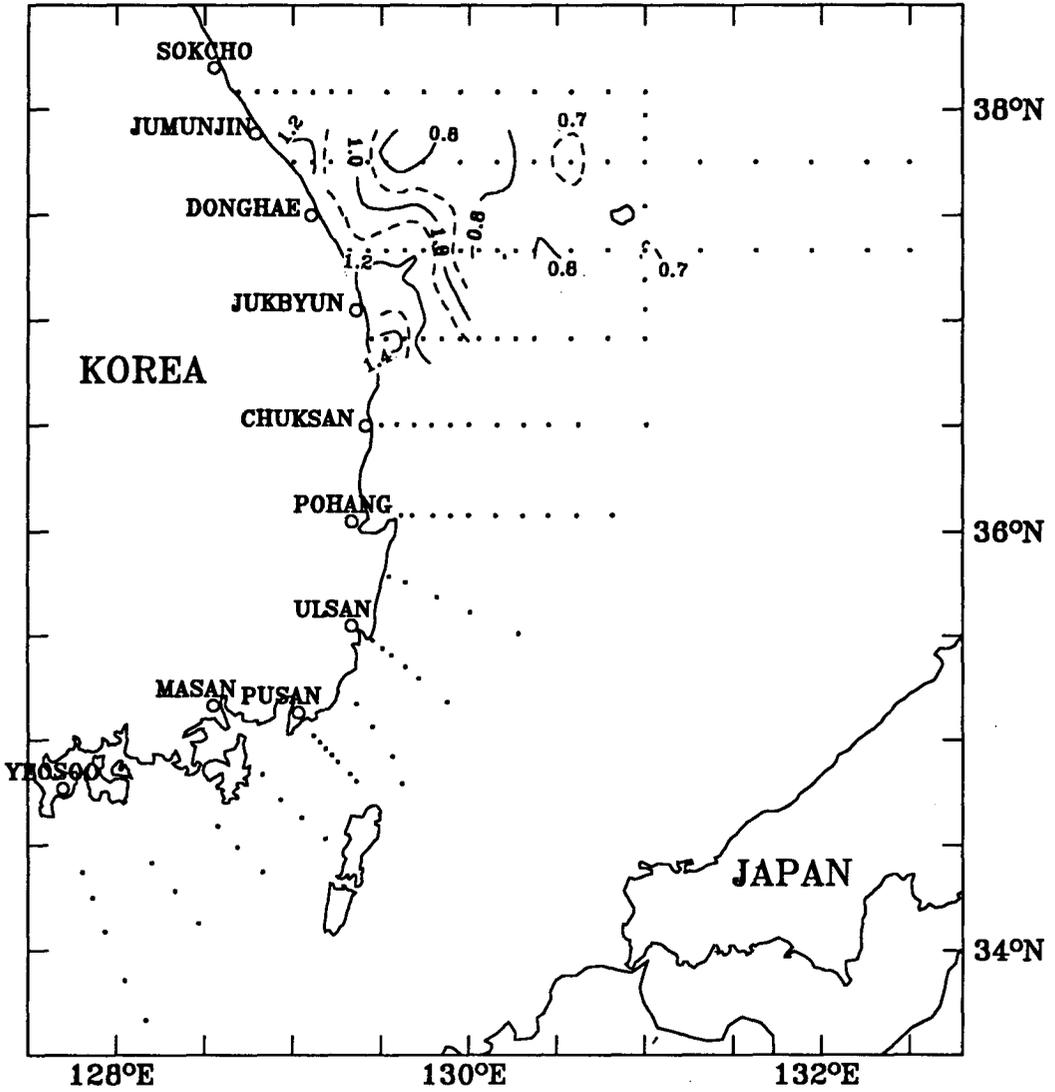


Fig. 5-1. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in January.

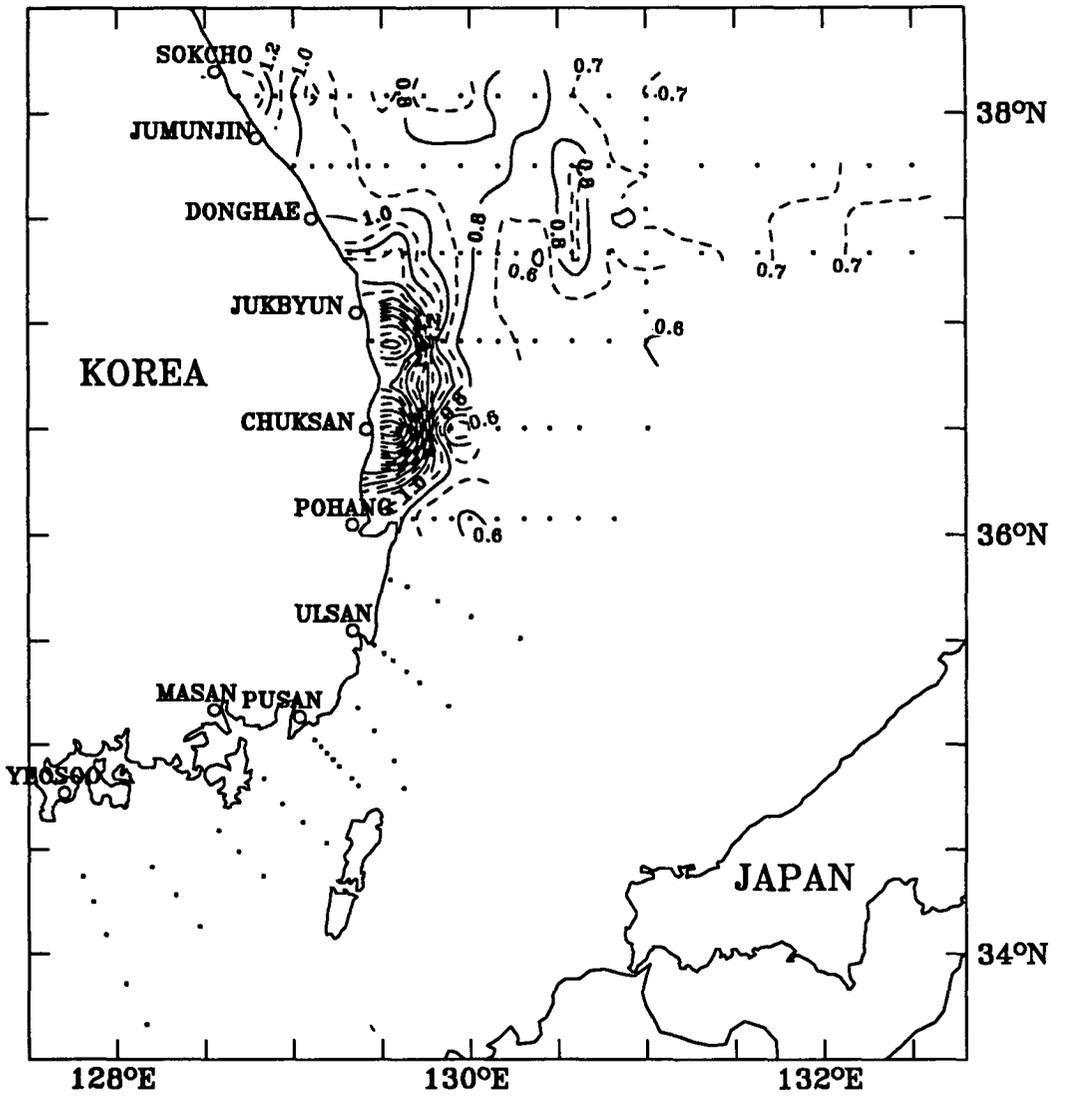


Fig. 5-2. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in February.

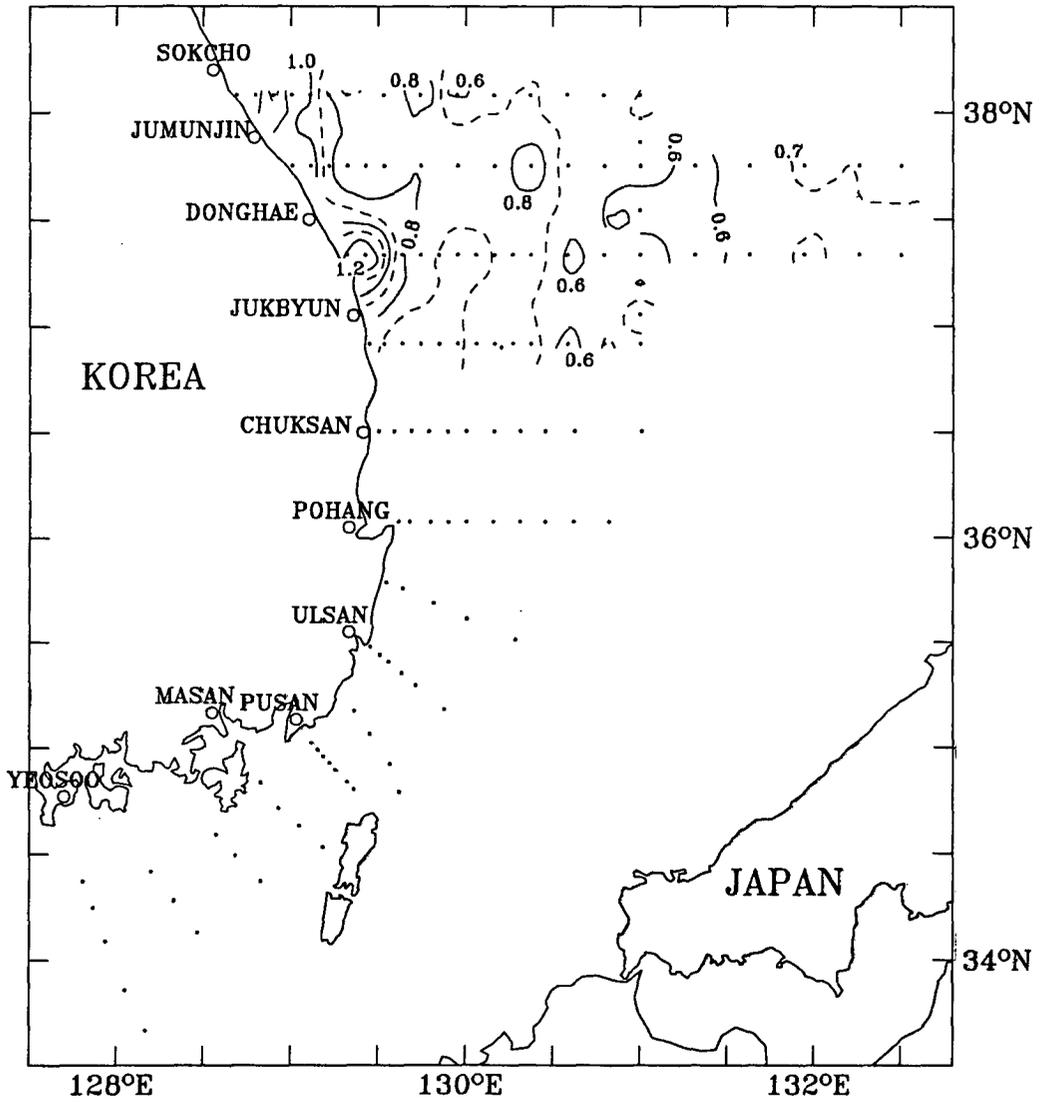


Fig. 5-3. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in March.

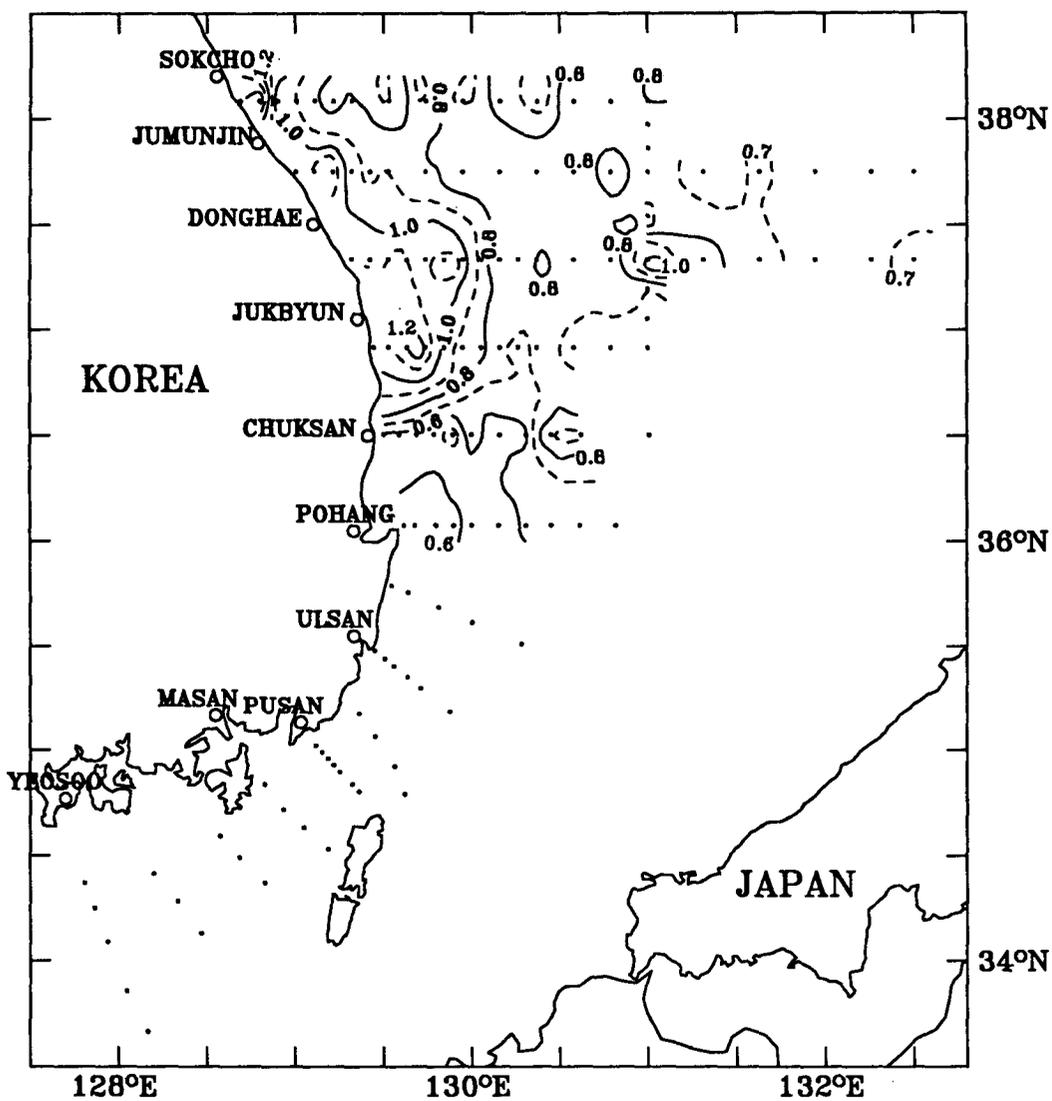


Fig. 5-4. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in April.

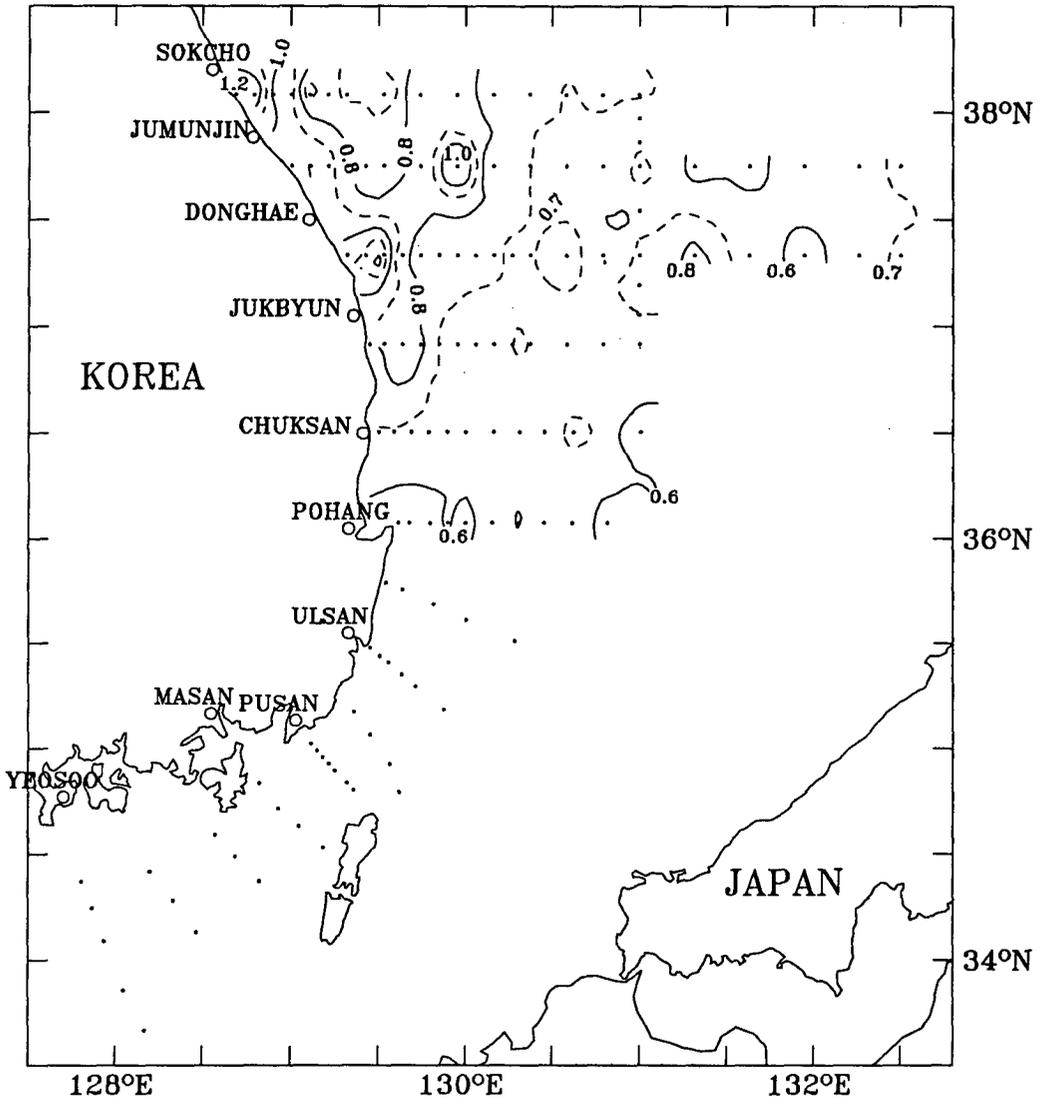


Fig. 5-5. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in May.

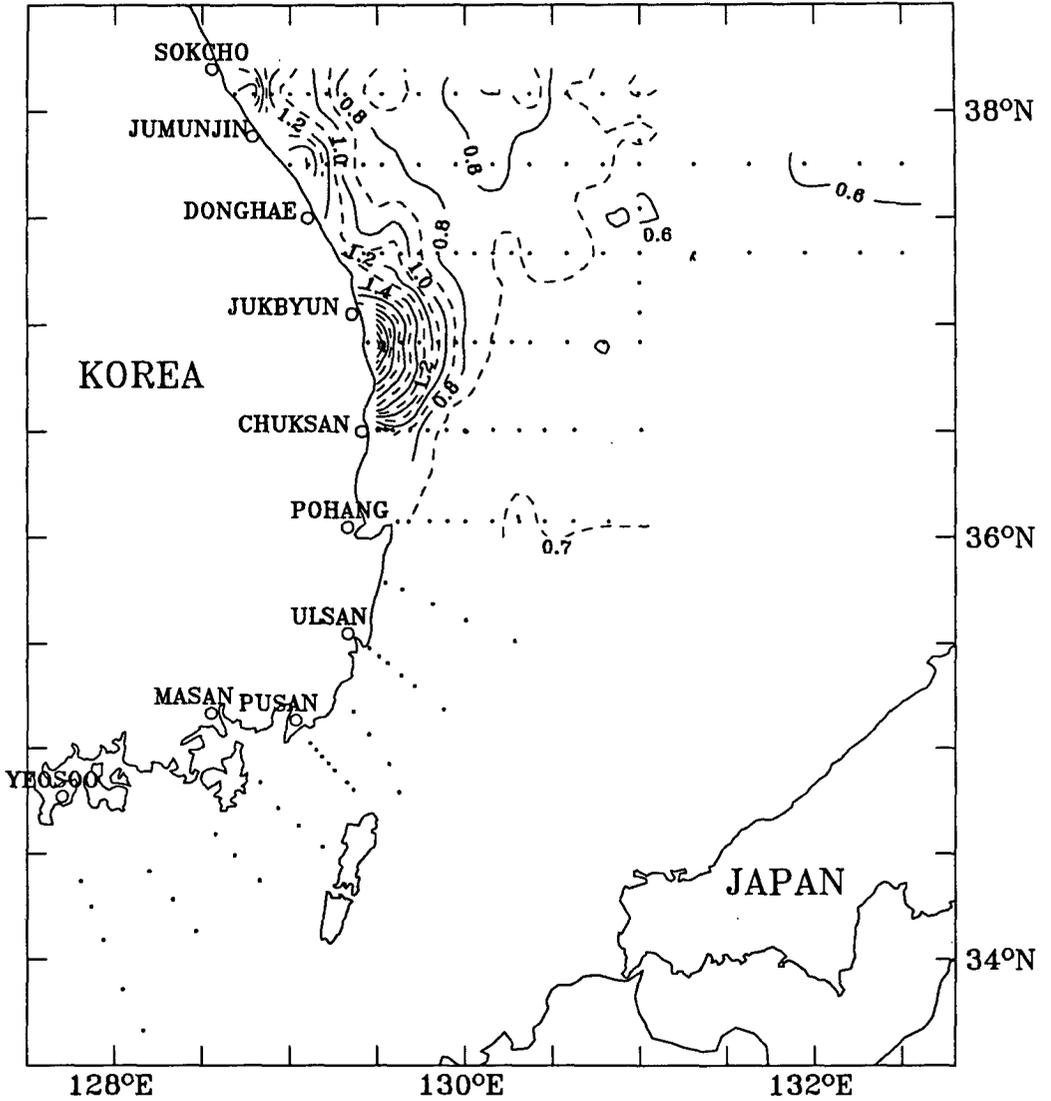


Fig. 5-6. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in June.

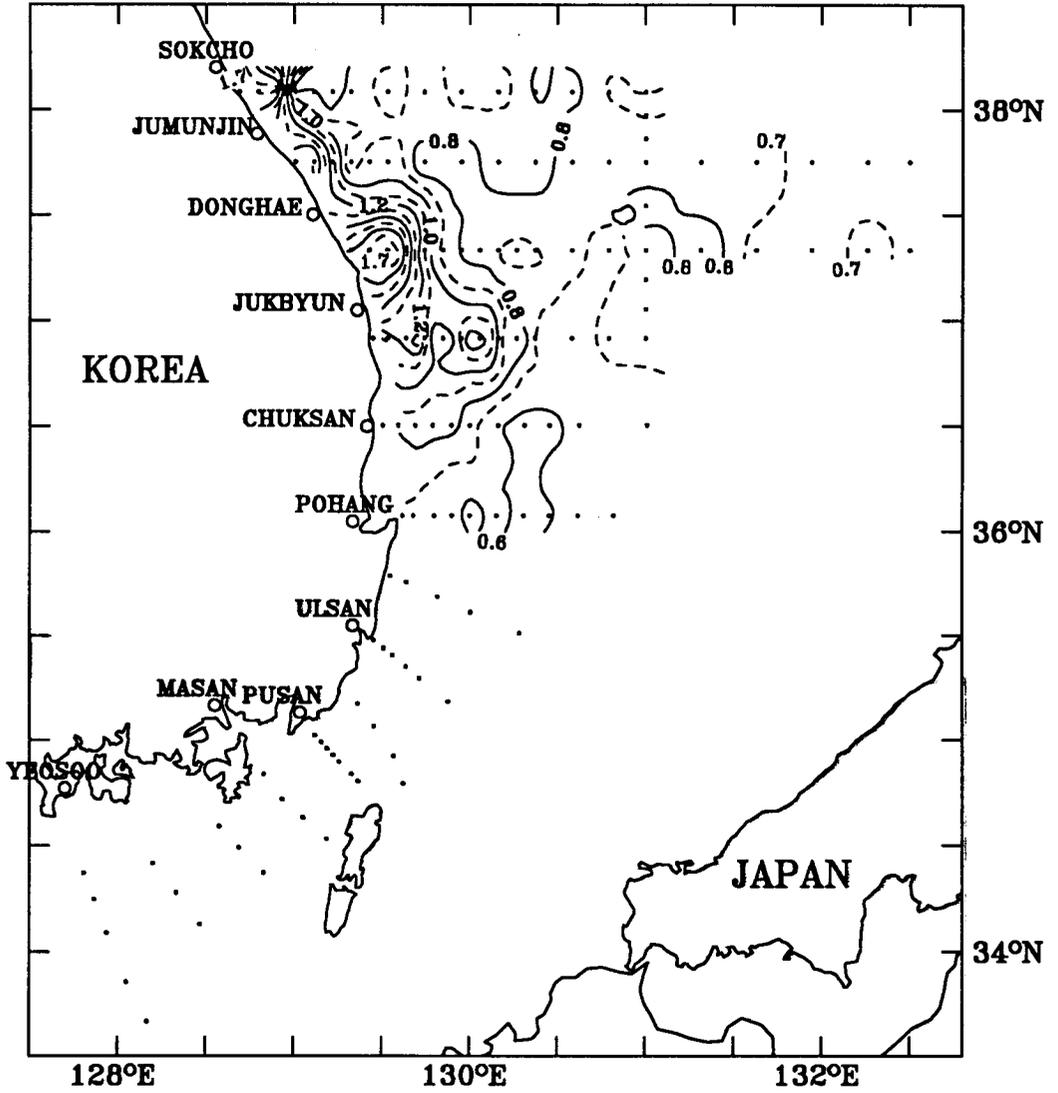


Fig. 5-7. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in July.

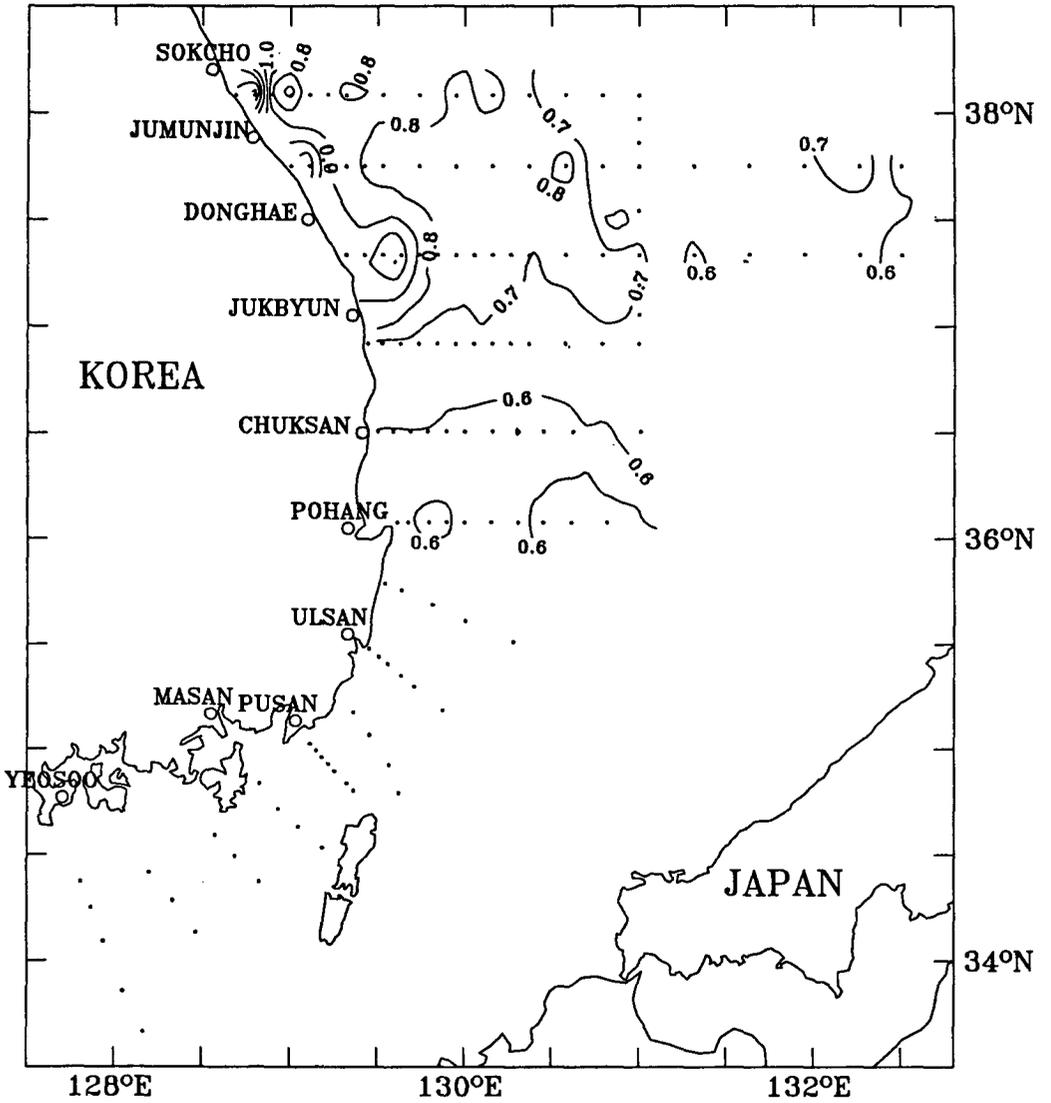


Fig. 5-8. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in August.

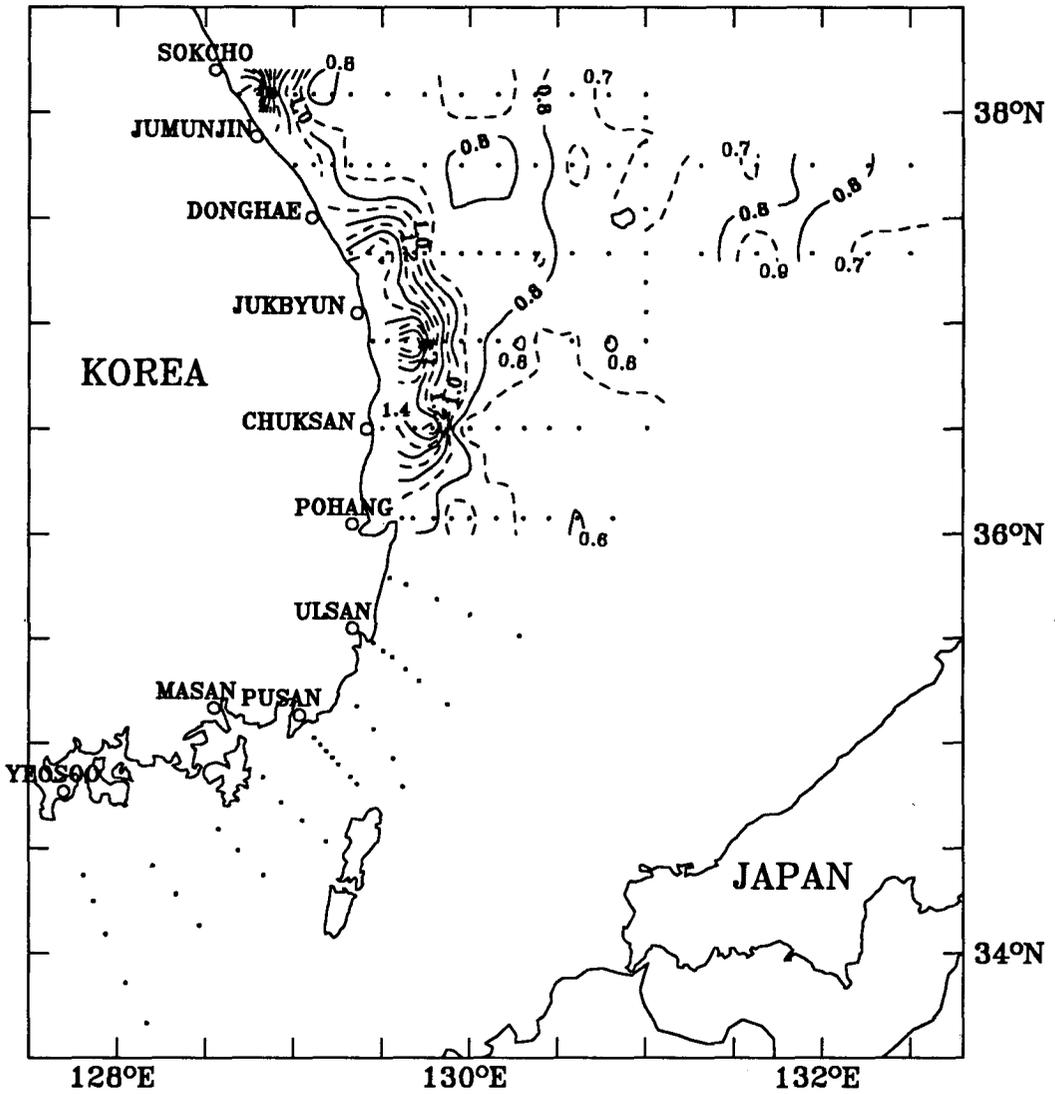


Fig. 5-9. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in September.

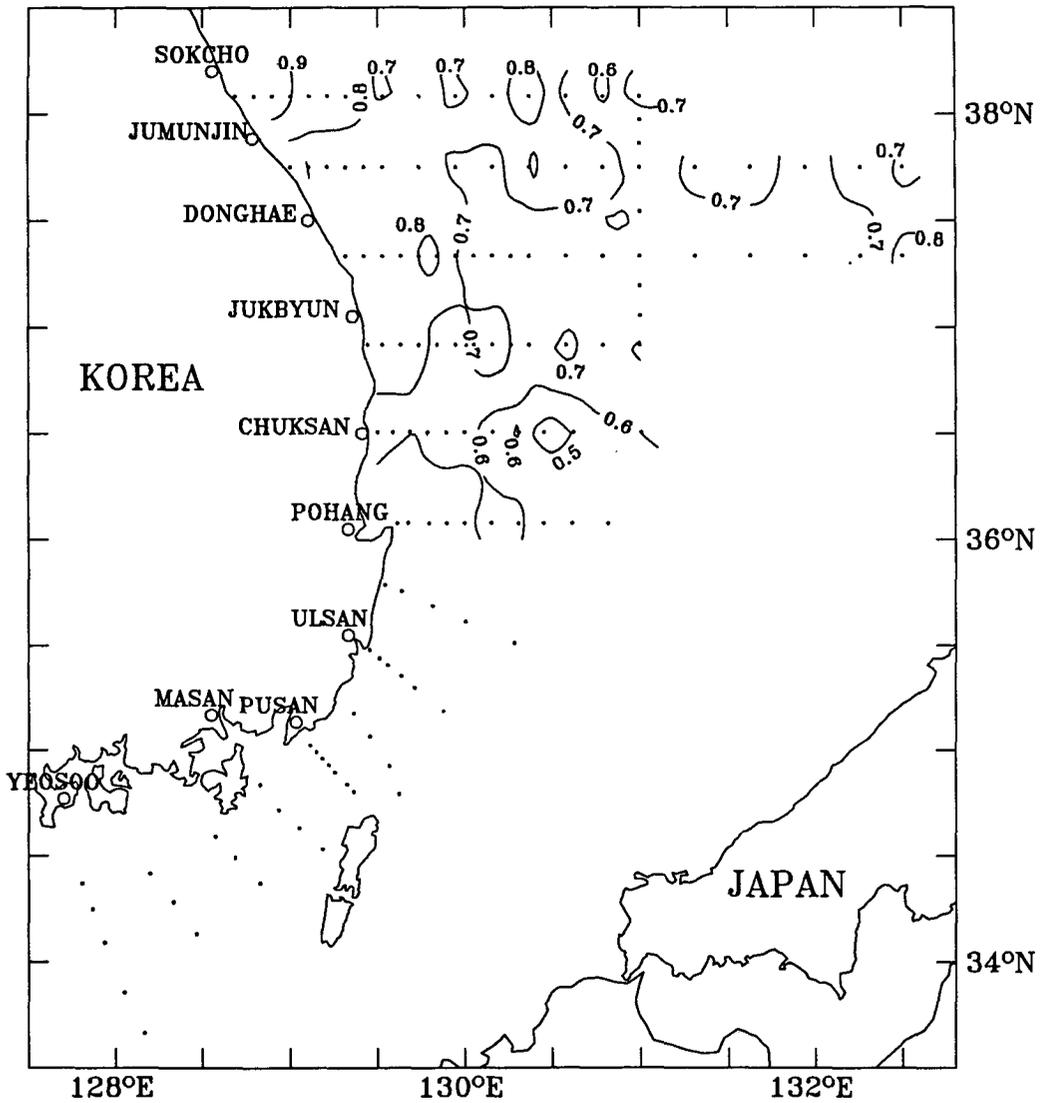


Fig. 5-10. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in October.

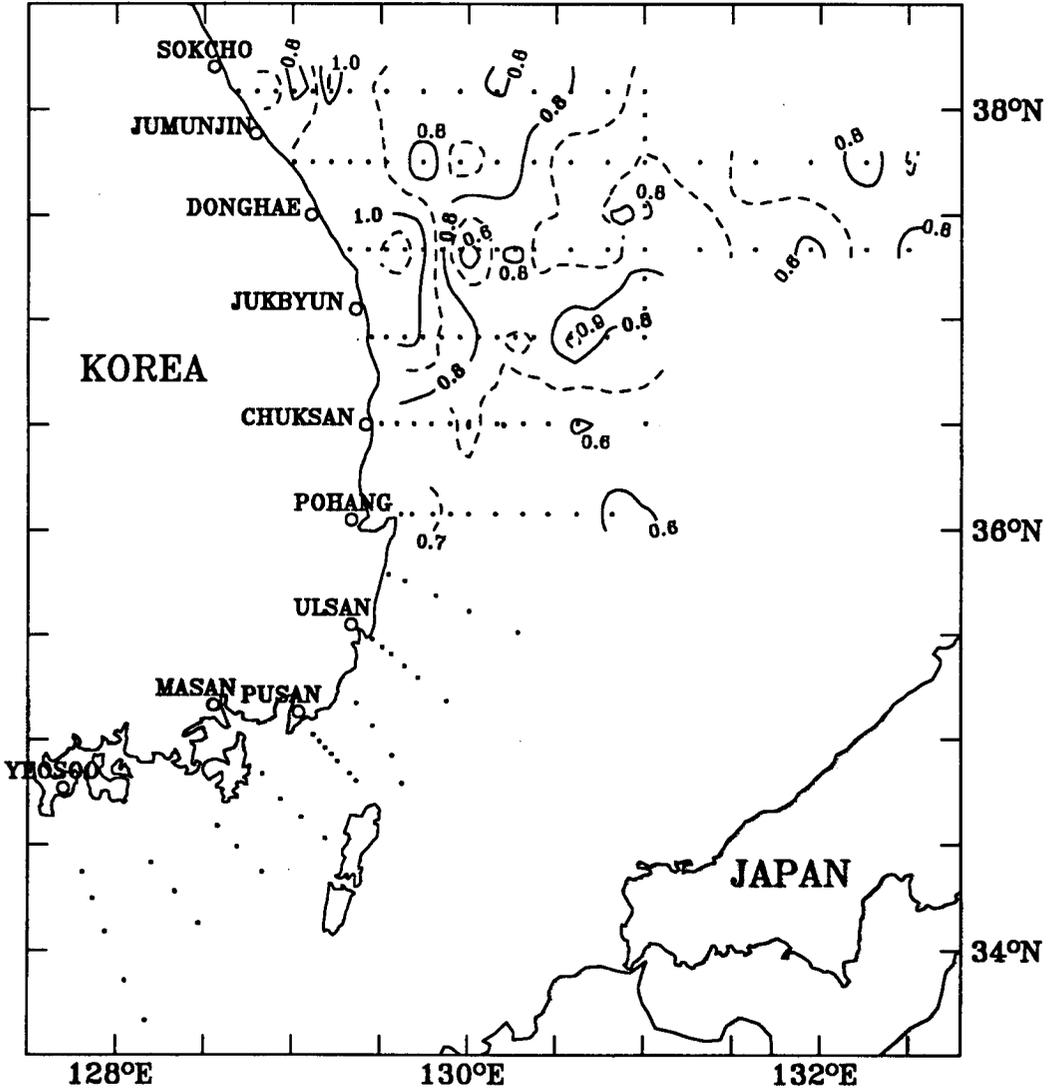


Fig. 5-11. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in November.

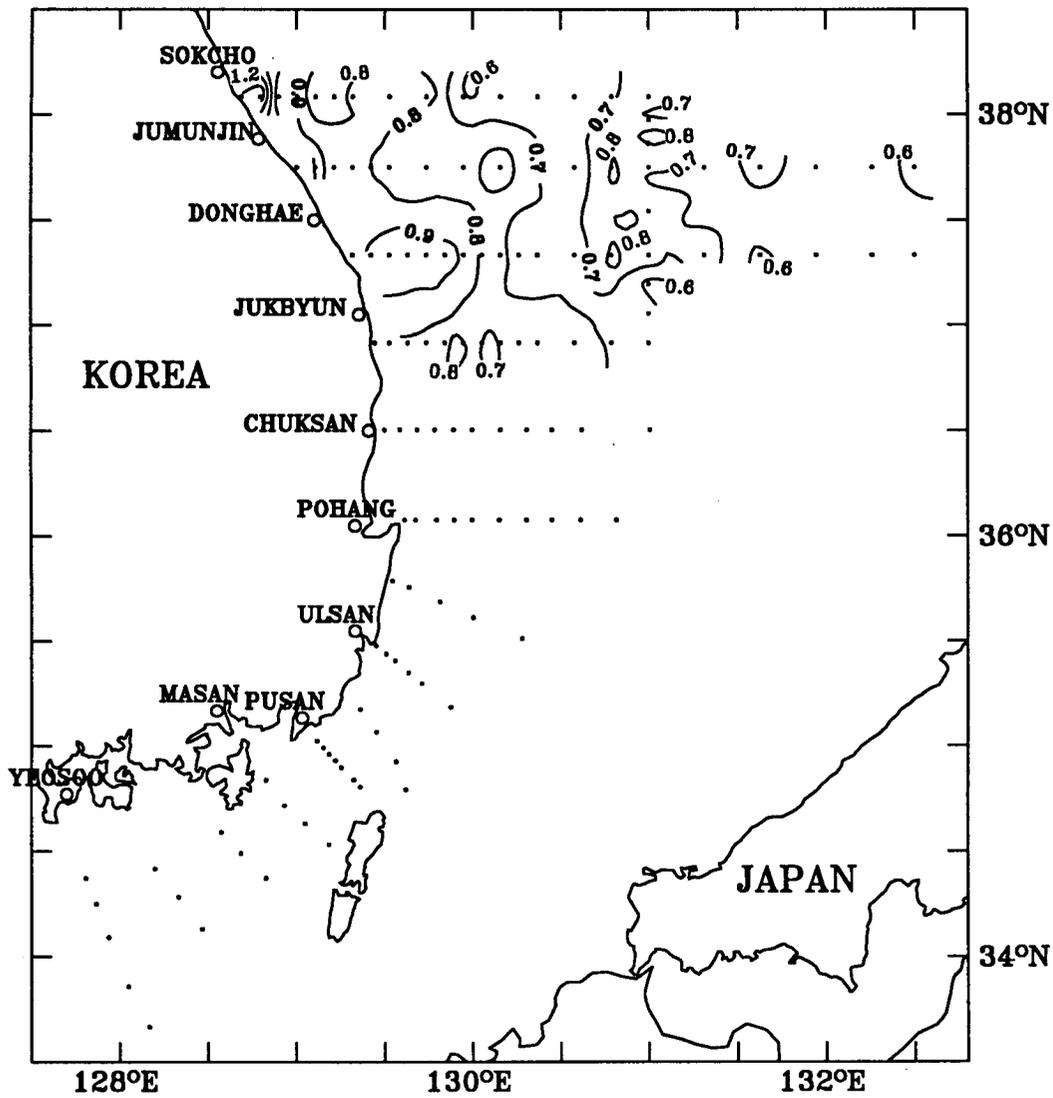


Fig. 5-12. Temperature(°C) at sound speed minimum layer in December.

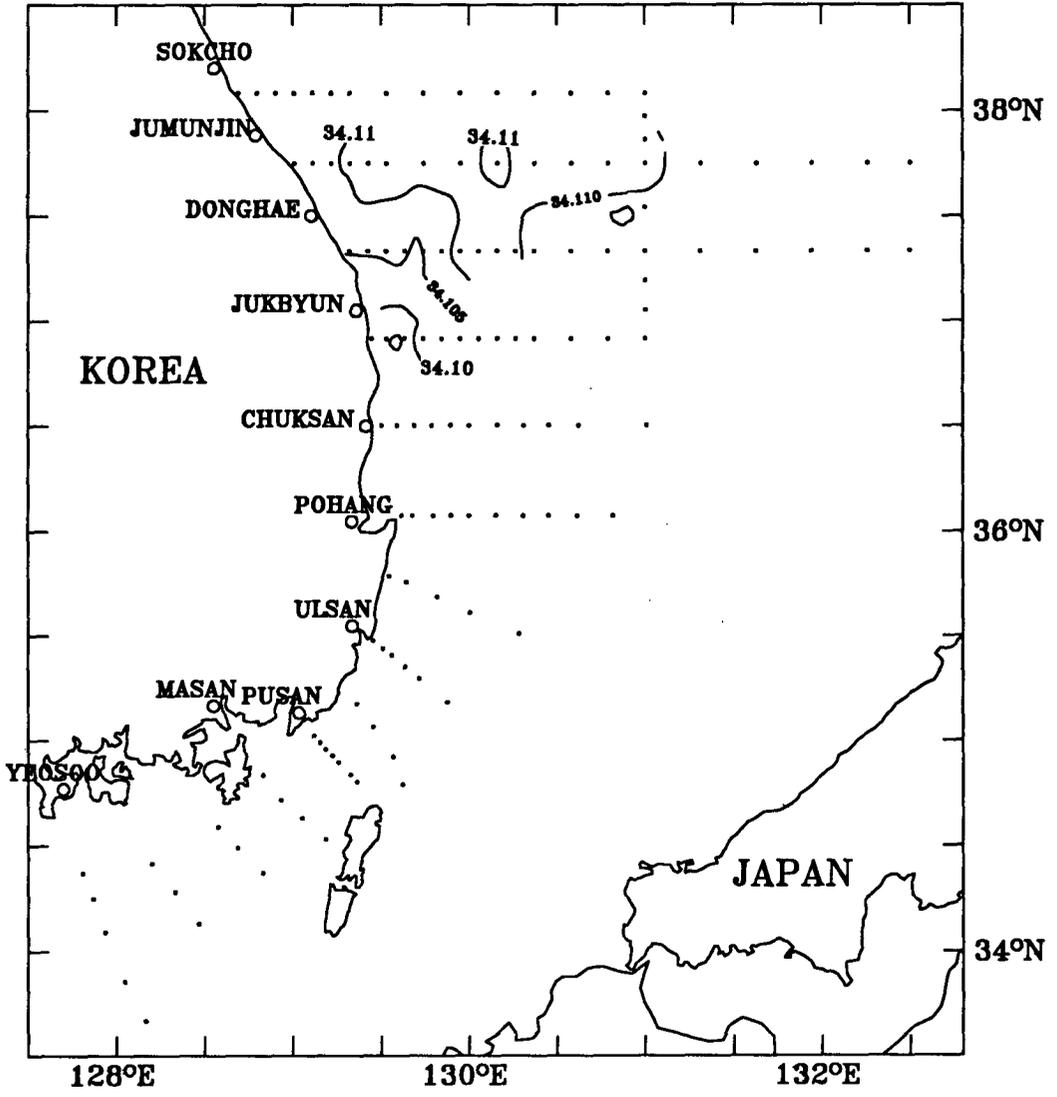


Fig. 5-13. Salinity(%) at sound speed minimum layer in January.

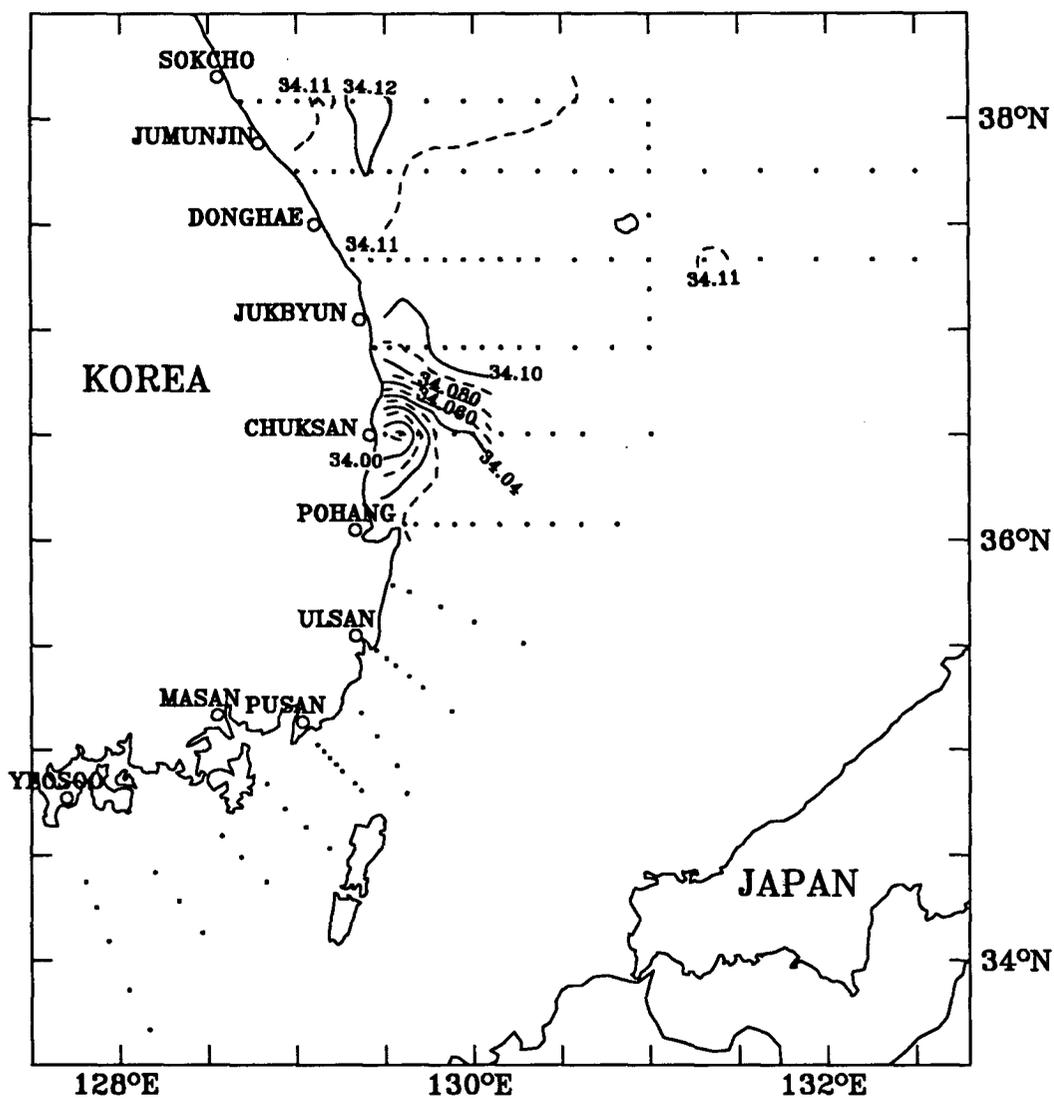


Fig. 5-14. Salinity(‰) at sound speed minimum layer in February.

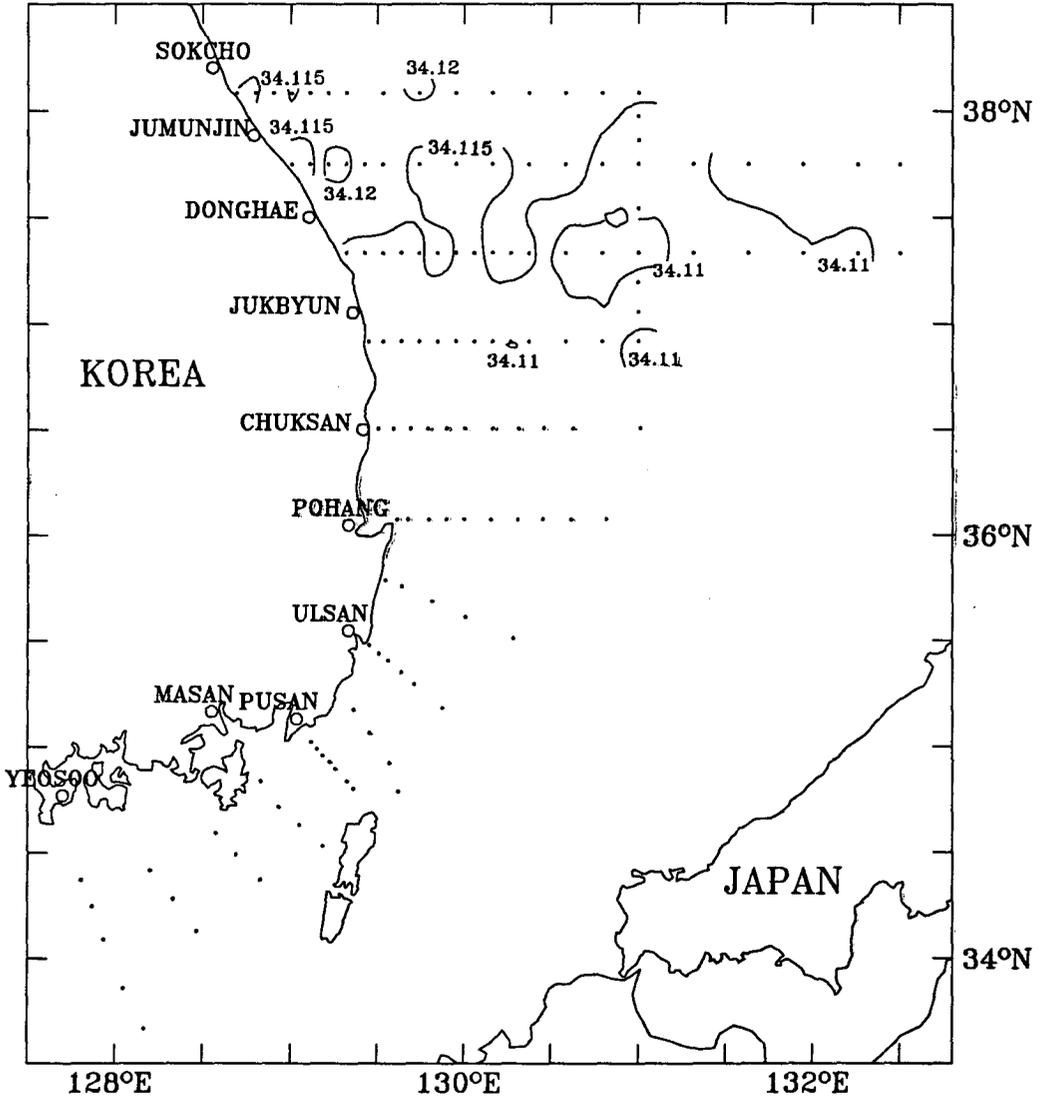


Fig. 5-15. Salinity(%) at sound speed minimum layer in March.

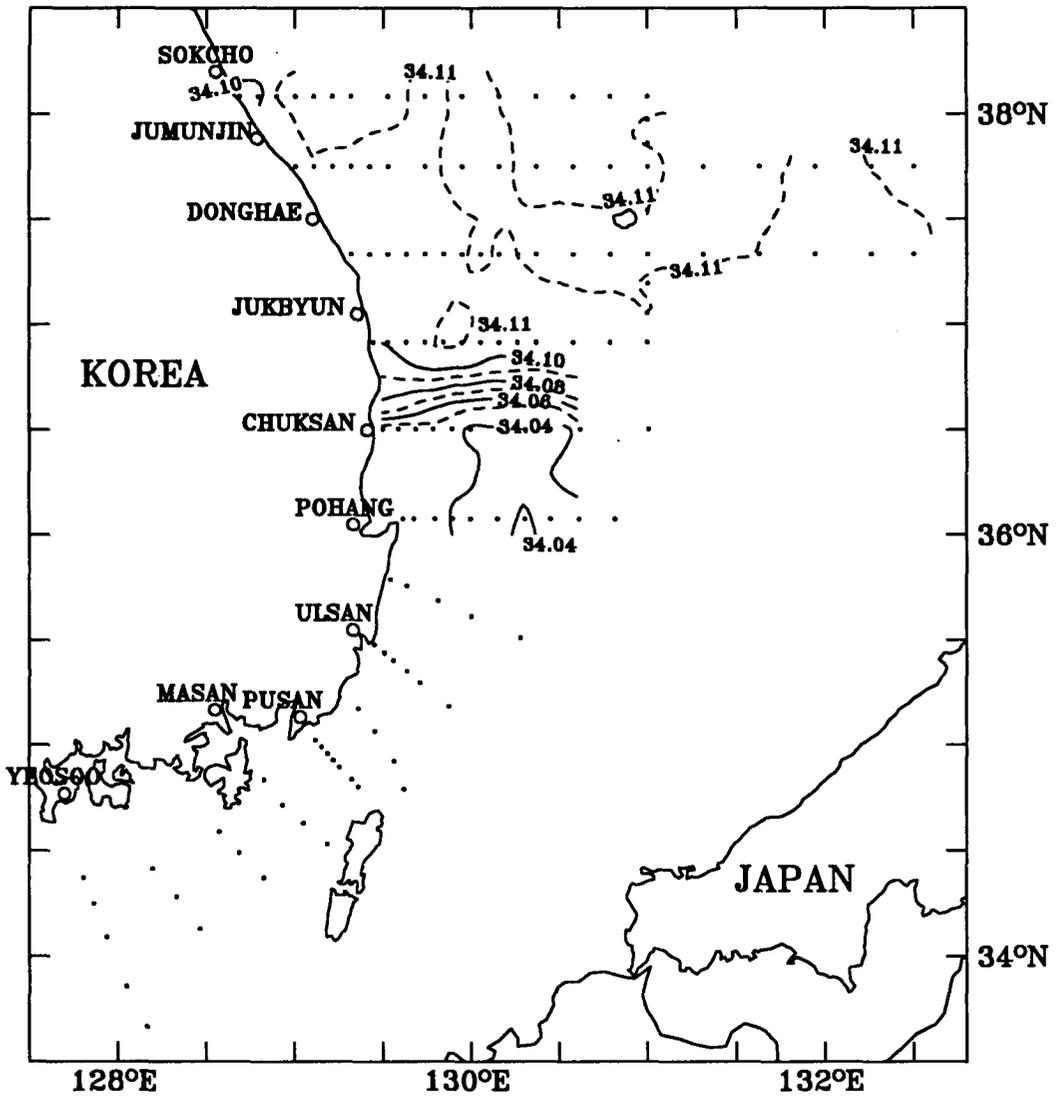


Fig. 5-16. Salinity(%) at sound speed minimum layer in April.

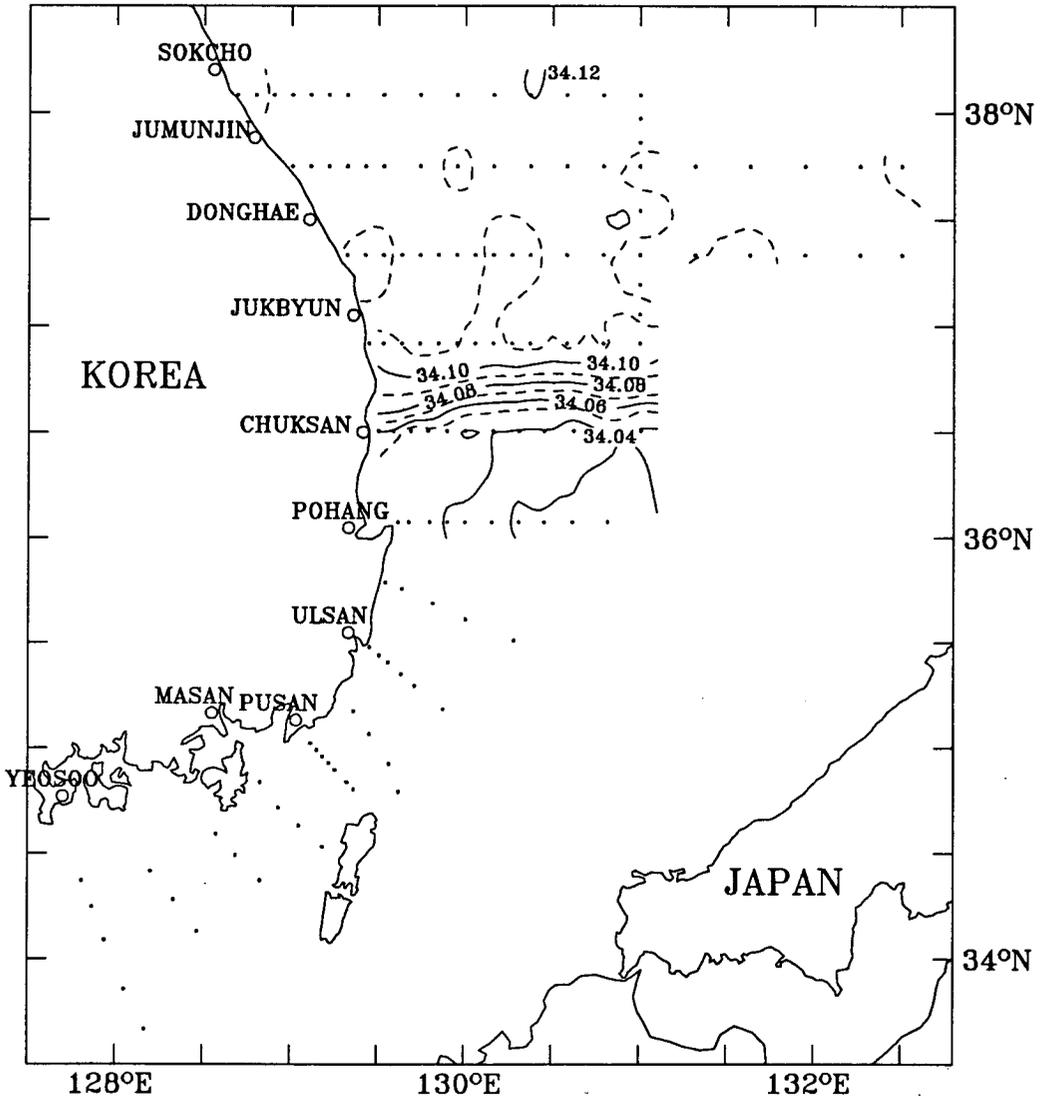


Fig. 5-17. Salinity(%) at sound speed minimum layer in May.

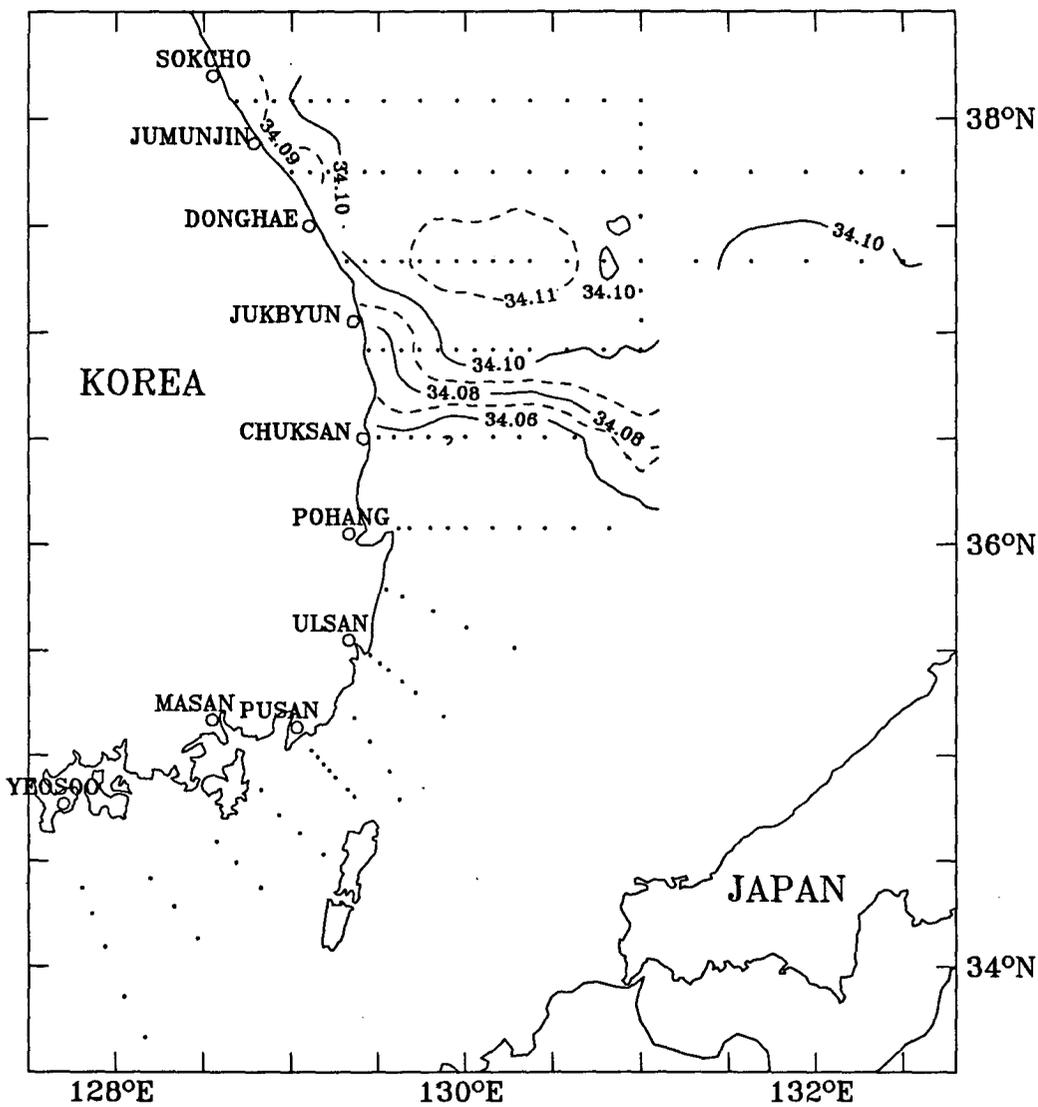


Fig. 5-18. Salinity(%) at sound speed minimum layer in June.

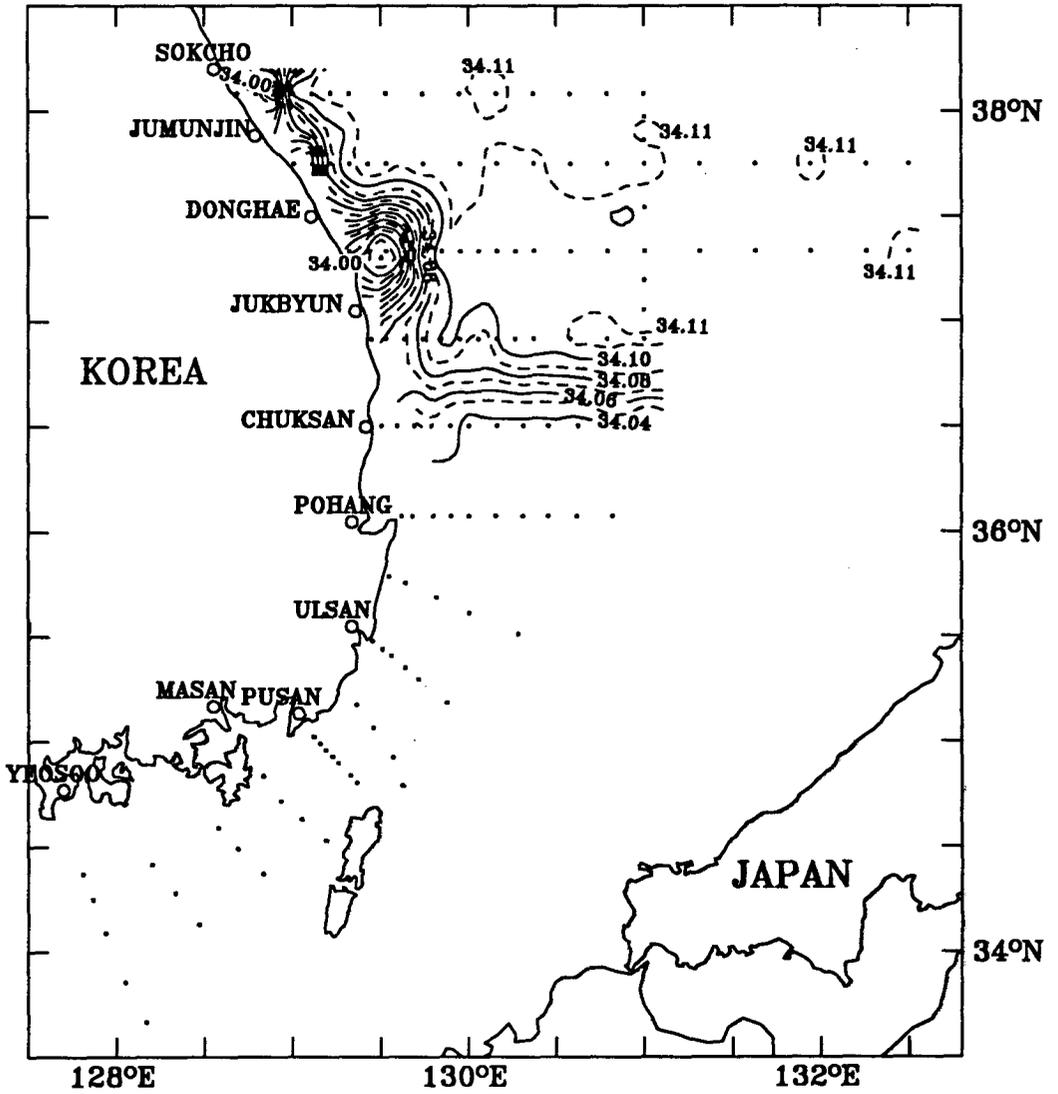


Fig. 5-19. Salinity(%) at sound speed minimum layer in July.

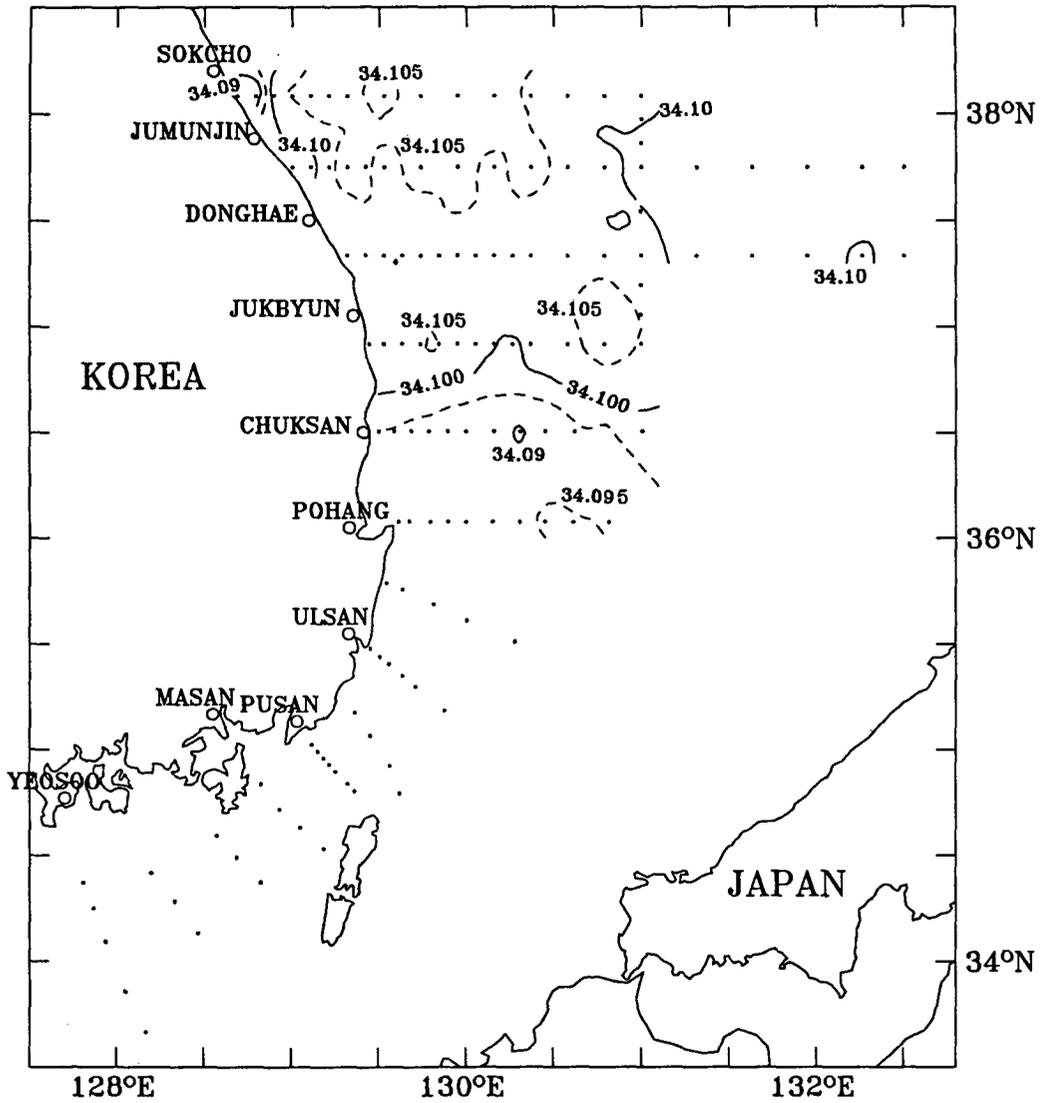


Fig. 5-20. Salinity(%) at sound speed minimum layer in August.

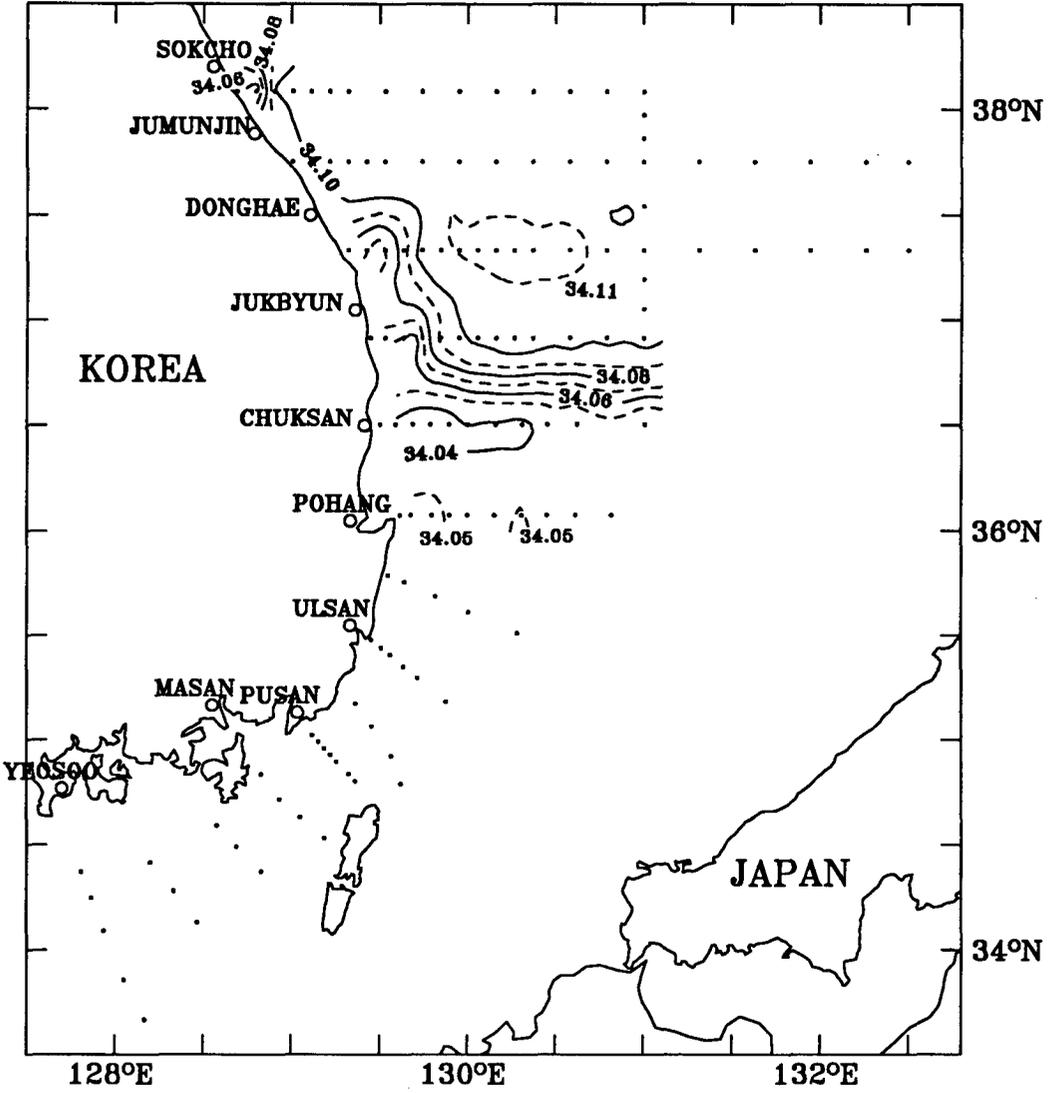


Fig. 5-21. Salinity(%) at sound speed minimum layer in September.

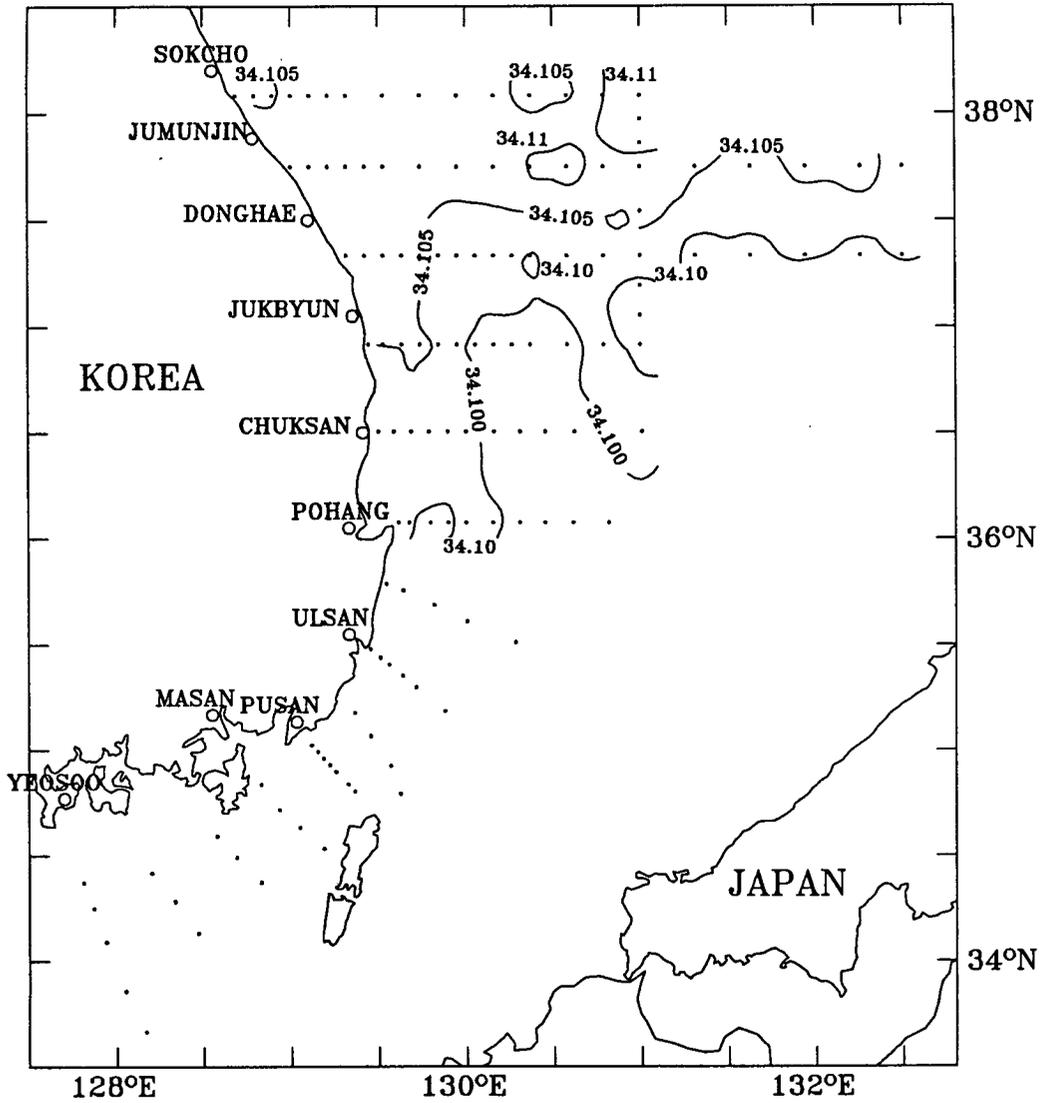


Fig. 5-22. Salinity(%) at sound speed minimum layer in October.

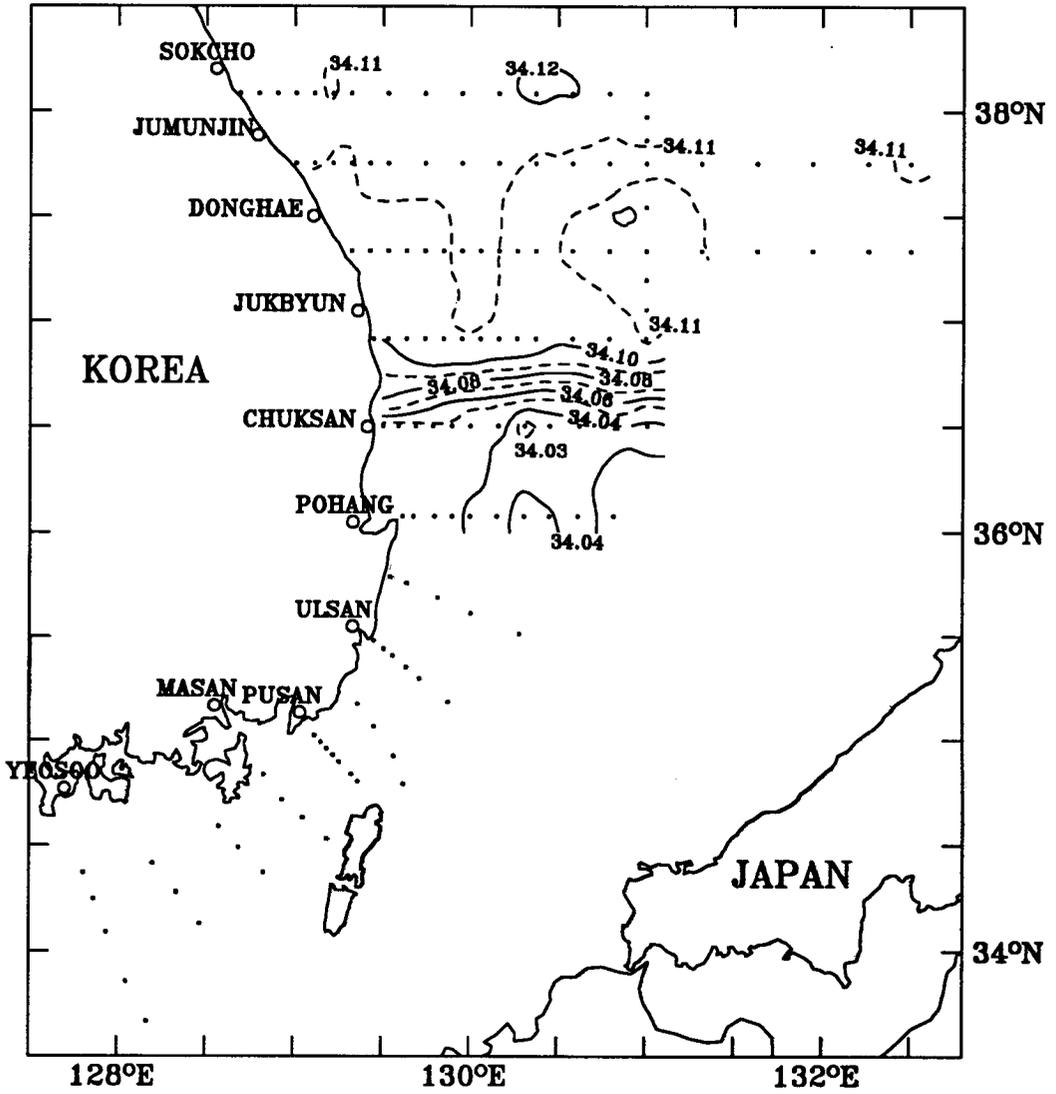


Fig. 5-23. Salinity(%) at sound speed minimum layer in November.

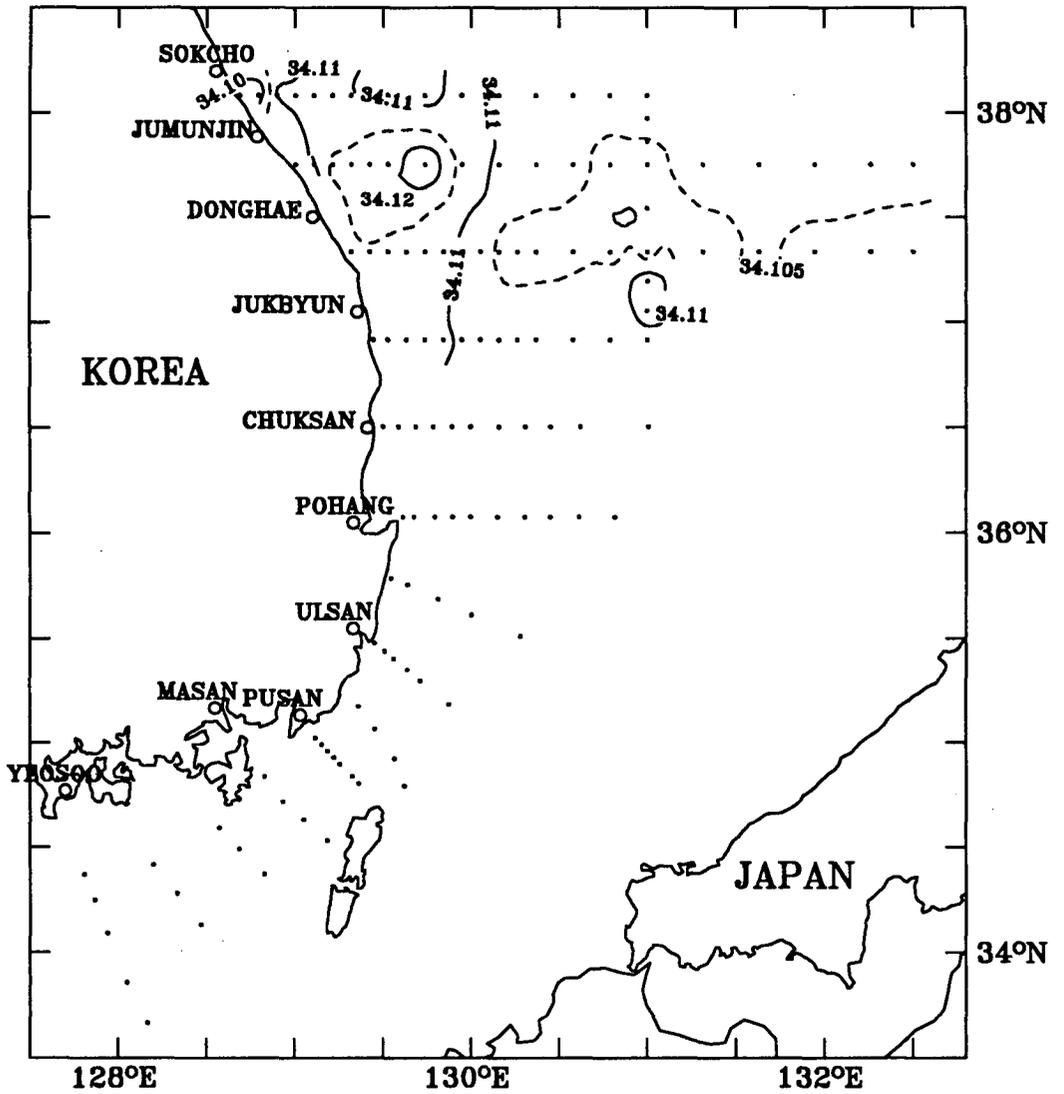


Fig. 5-24. Salinity(%) at sound speed minimum layer in December.

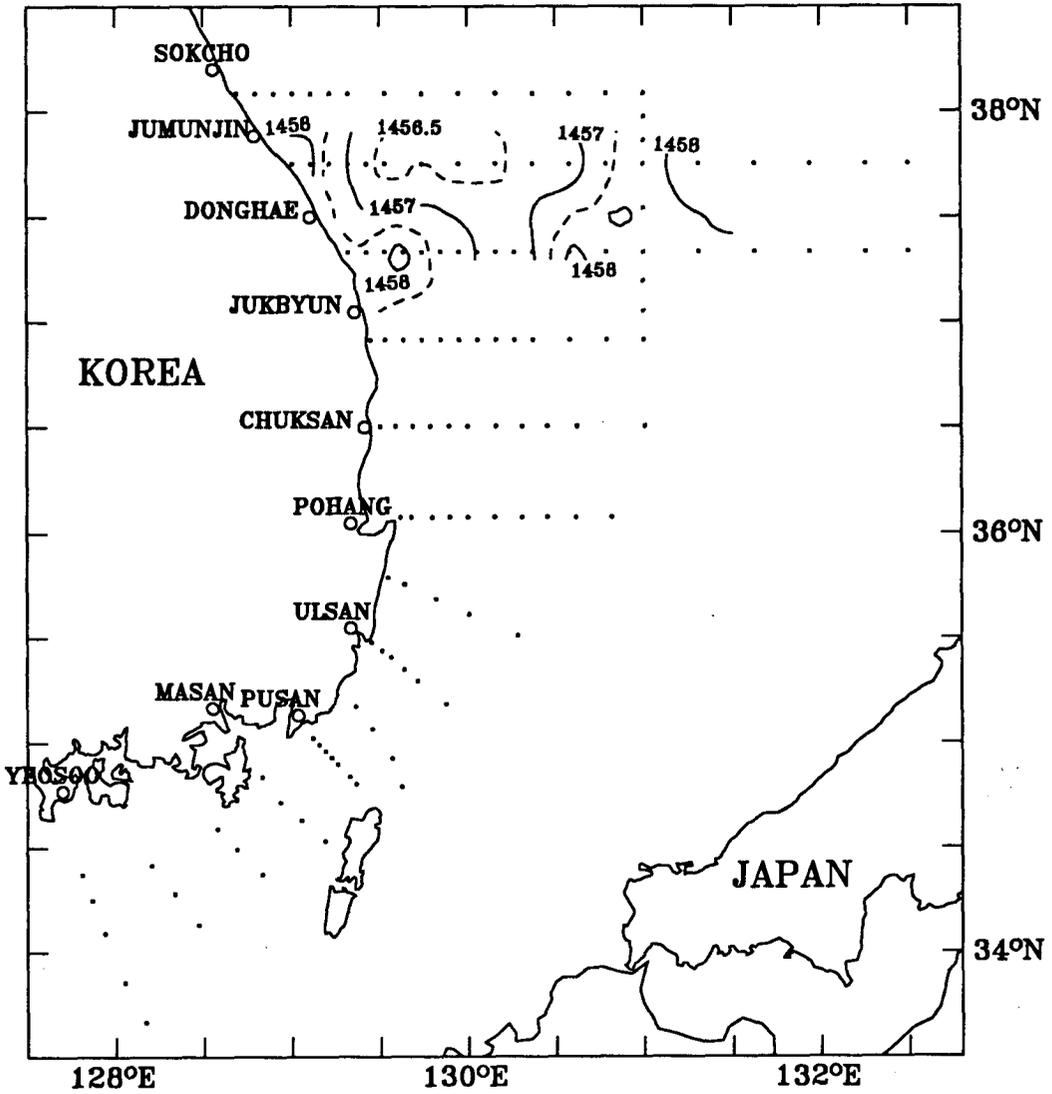


Fig. 5-25. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in January.

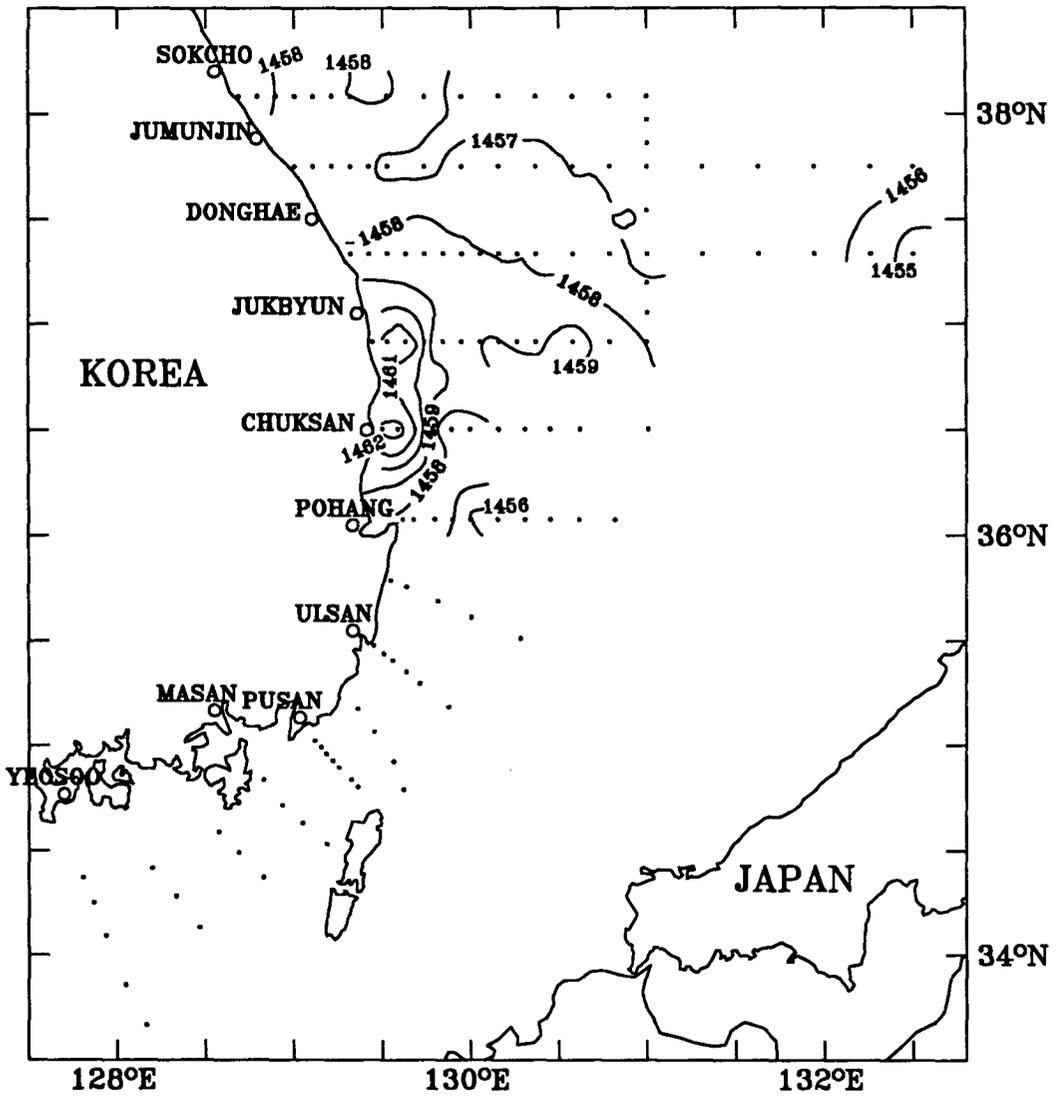


Fig. 5-26. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in February.

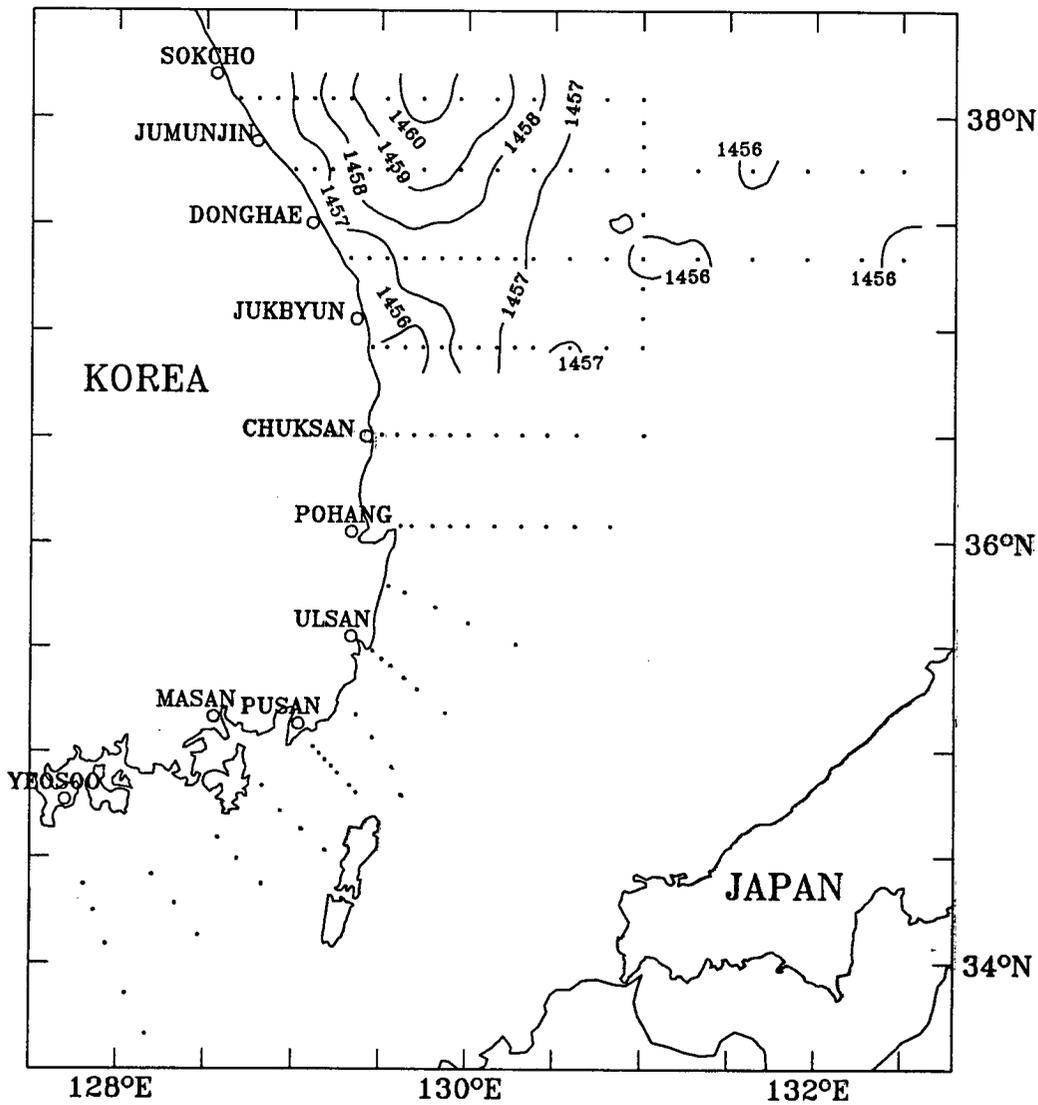


Fig. 5-27. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in March.

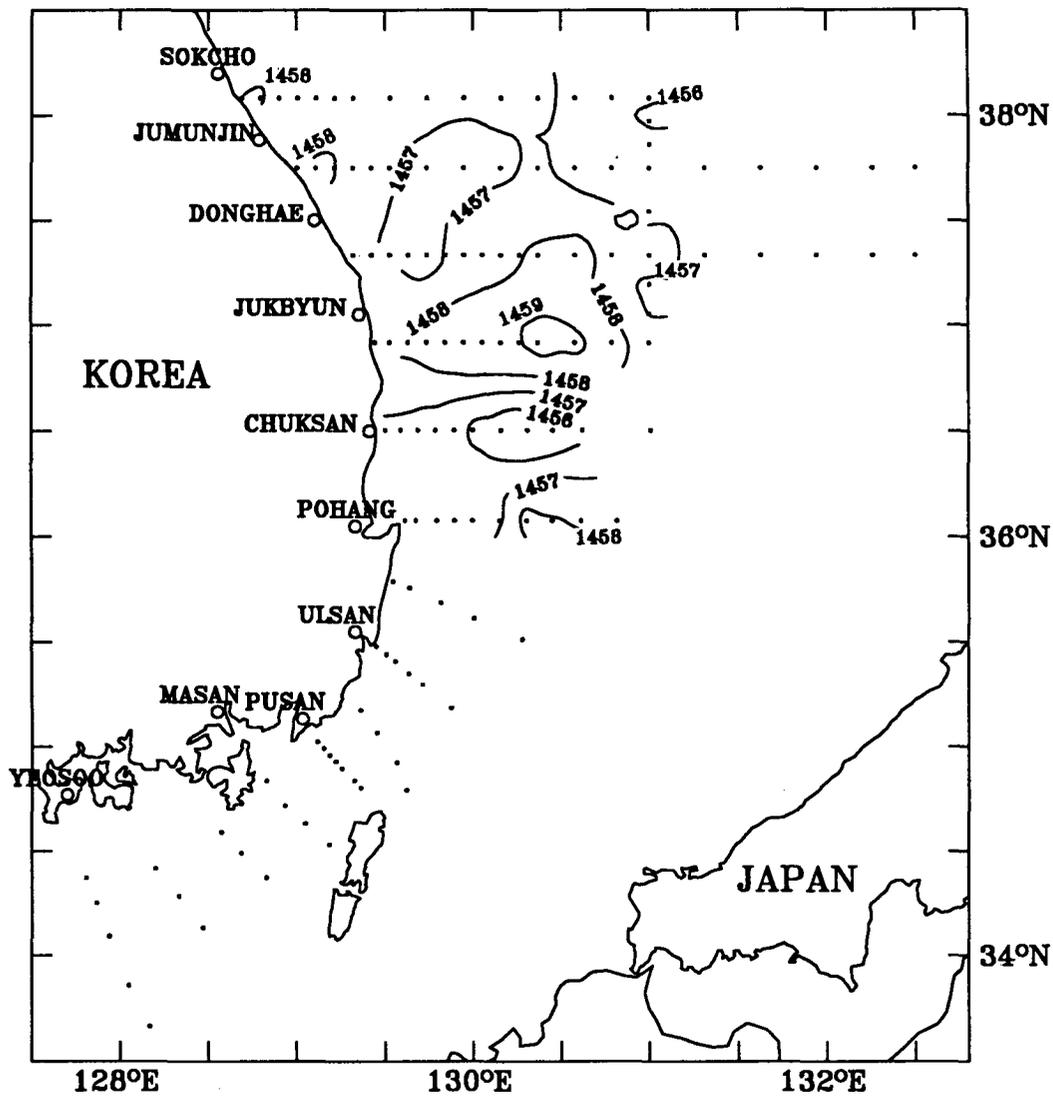


Fig. 5-28. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in April.

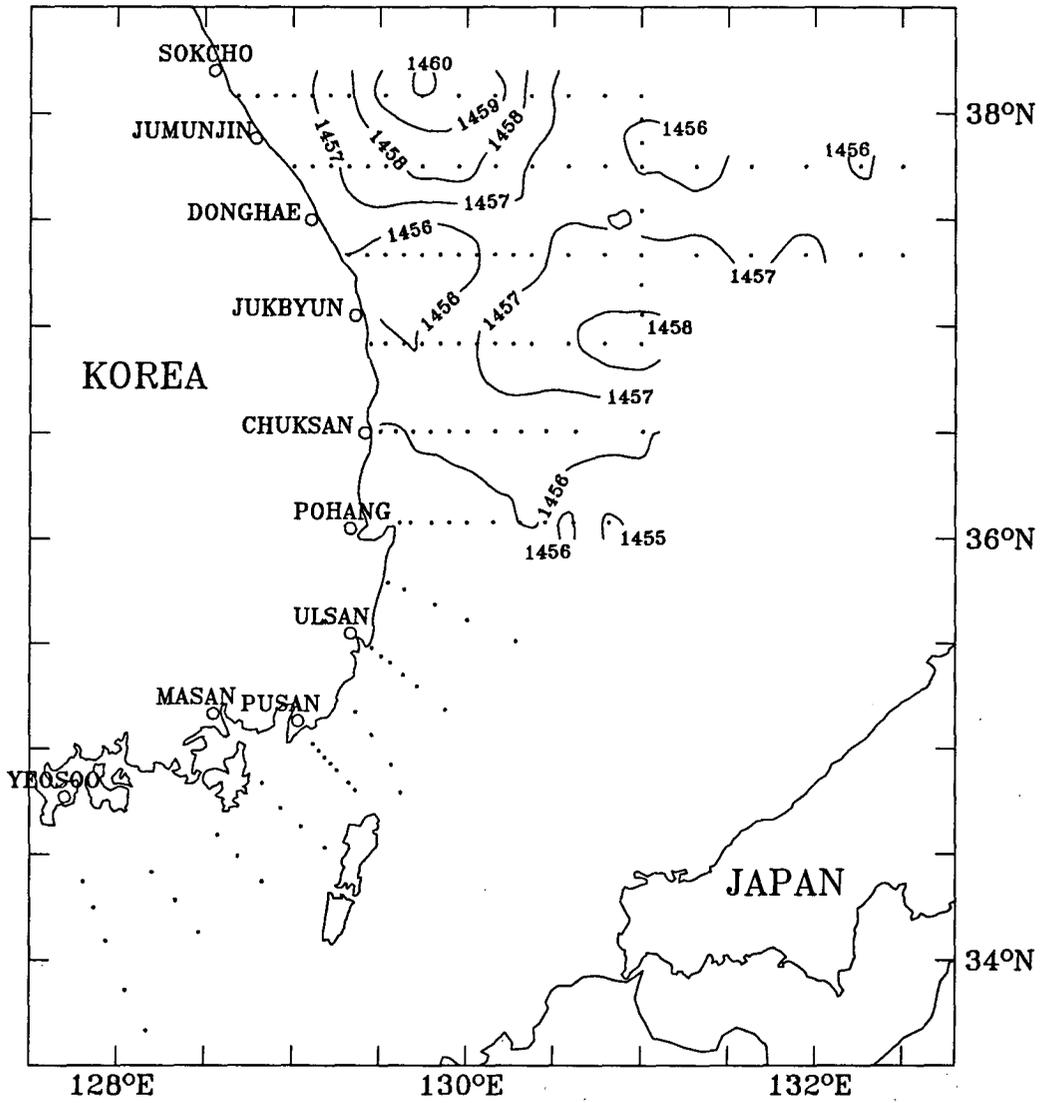


Fig. 5-29. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in May.

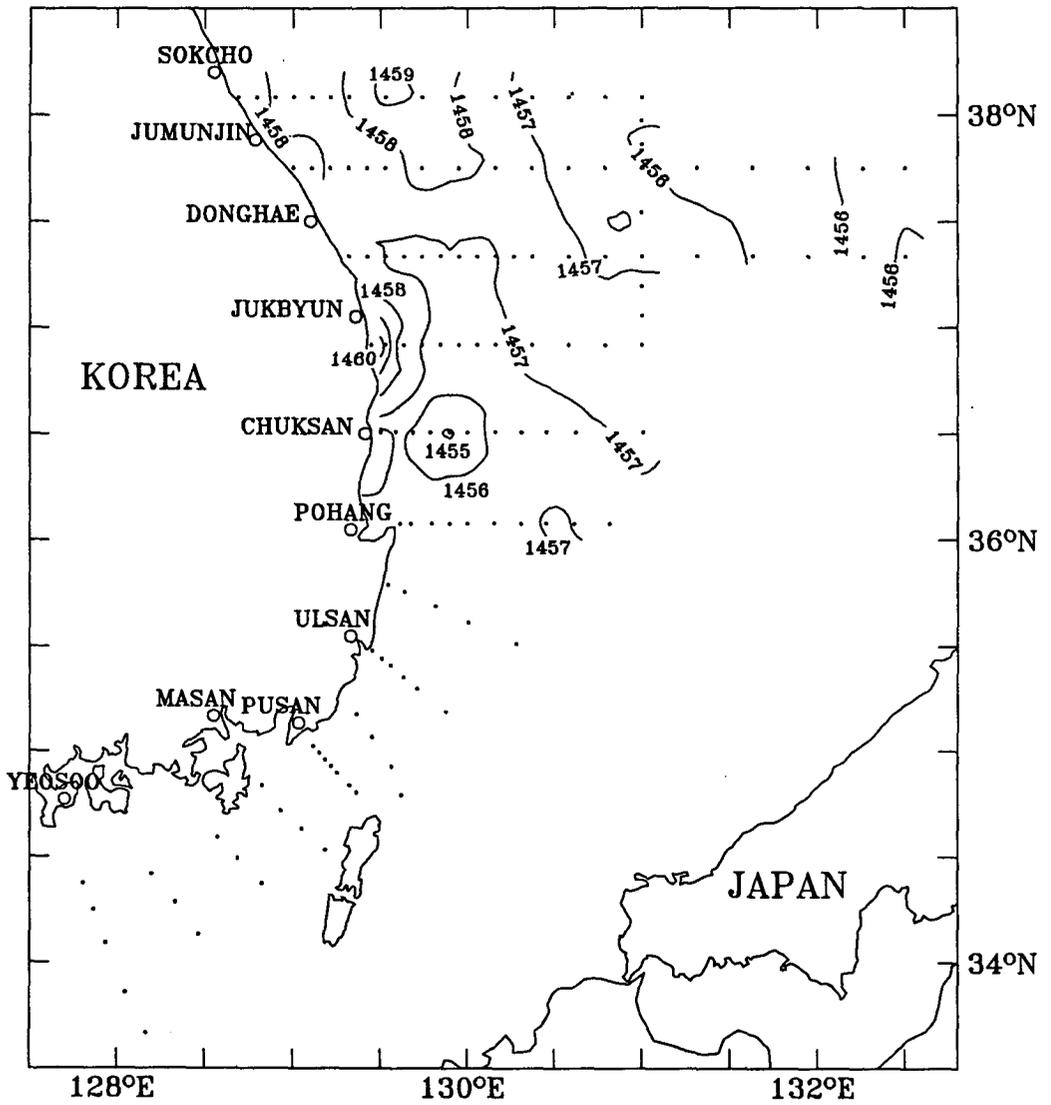


Fig. 5-30. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in June.

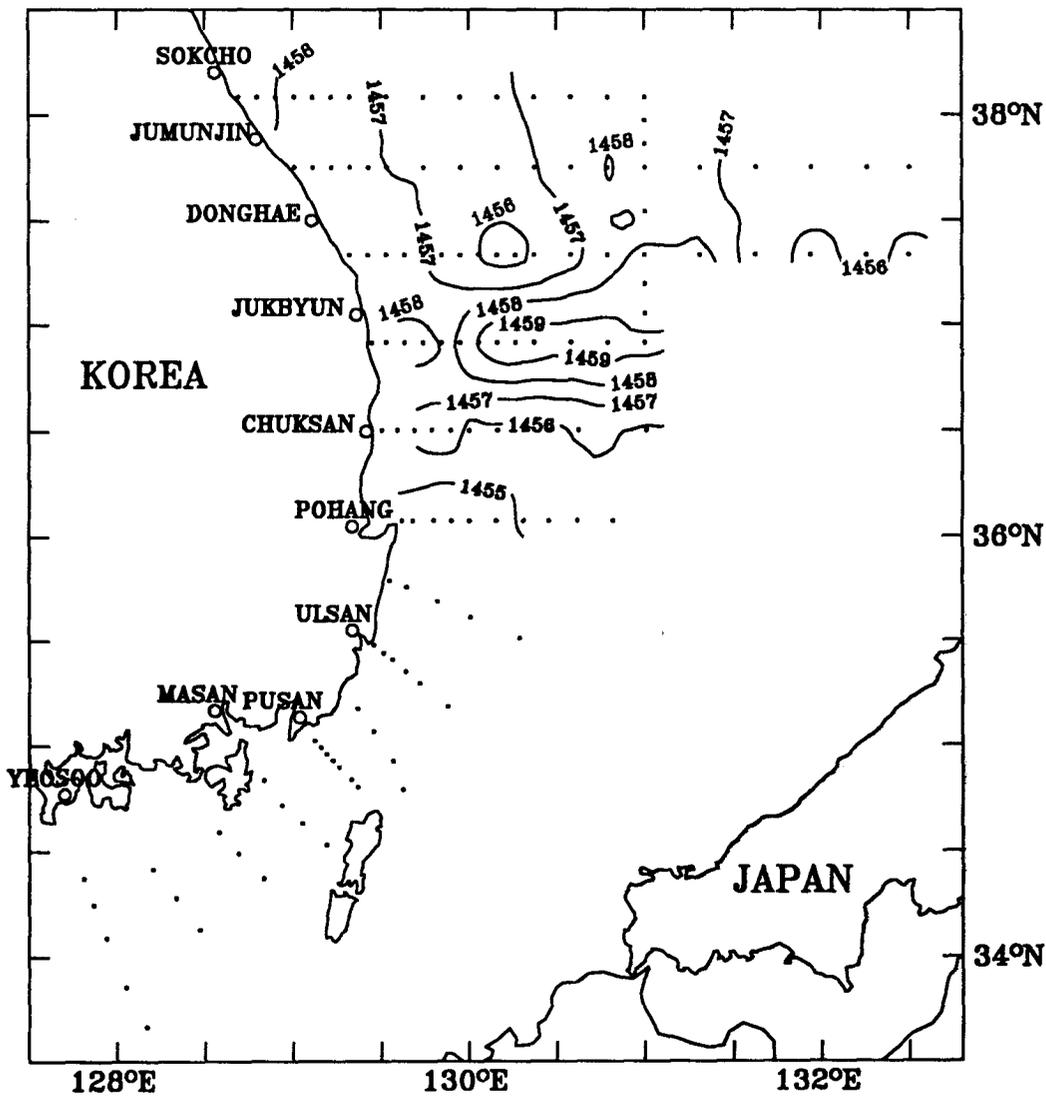


Fig. 5-31. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in July.

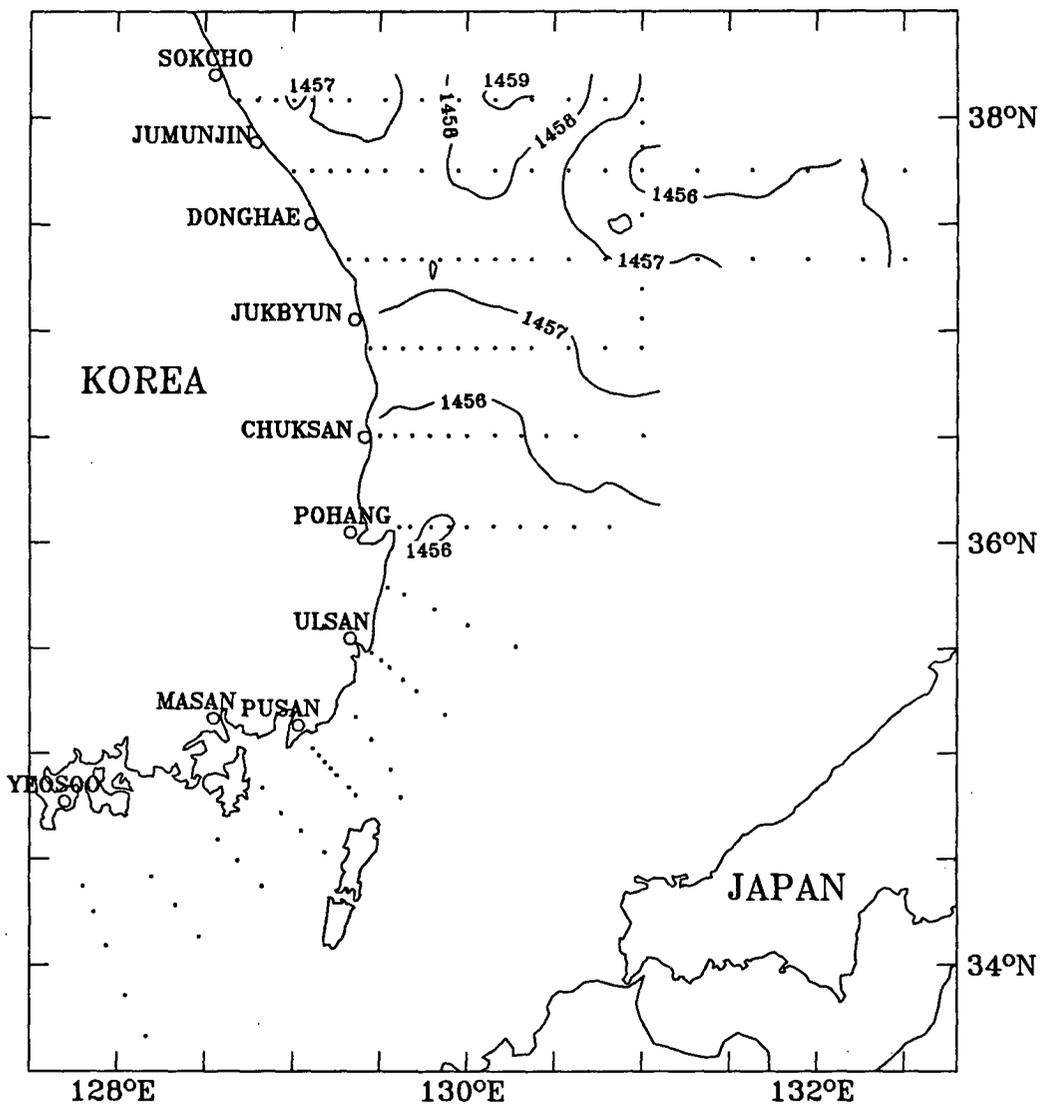


Fig. 5-32. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in August.

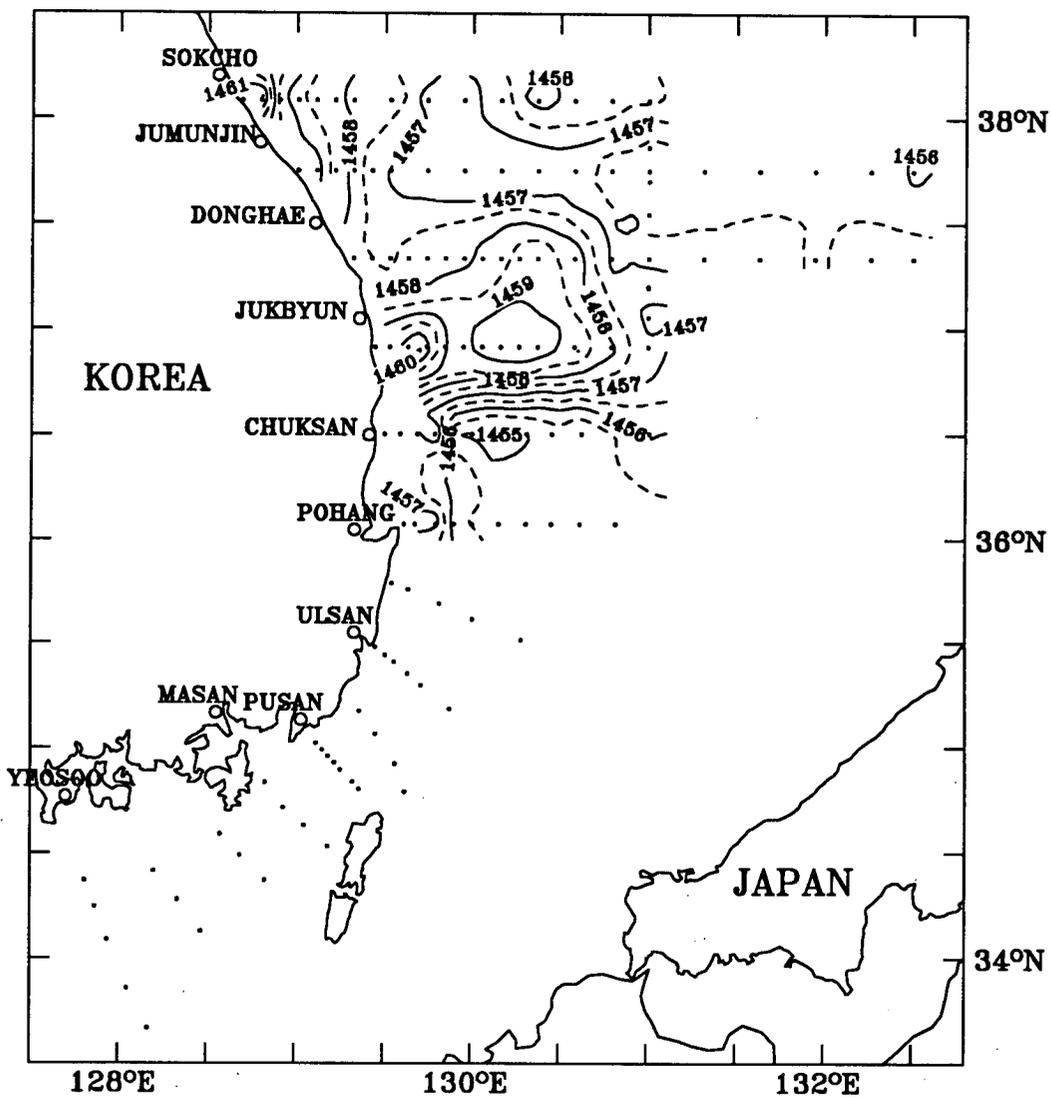


Fig. 5-33. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in September.

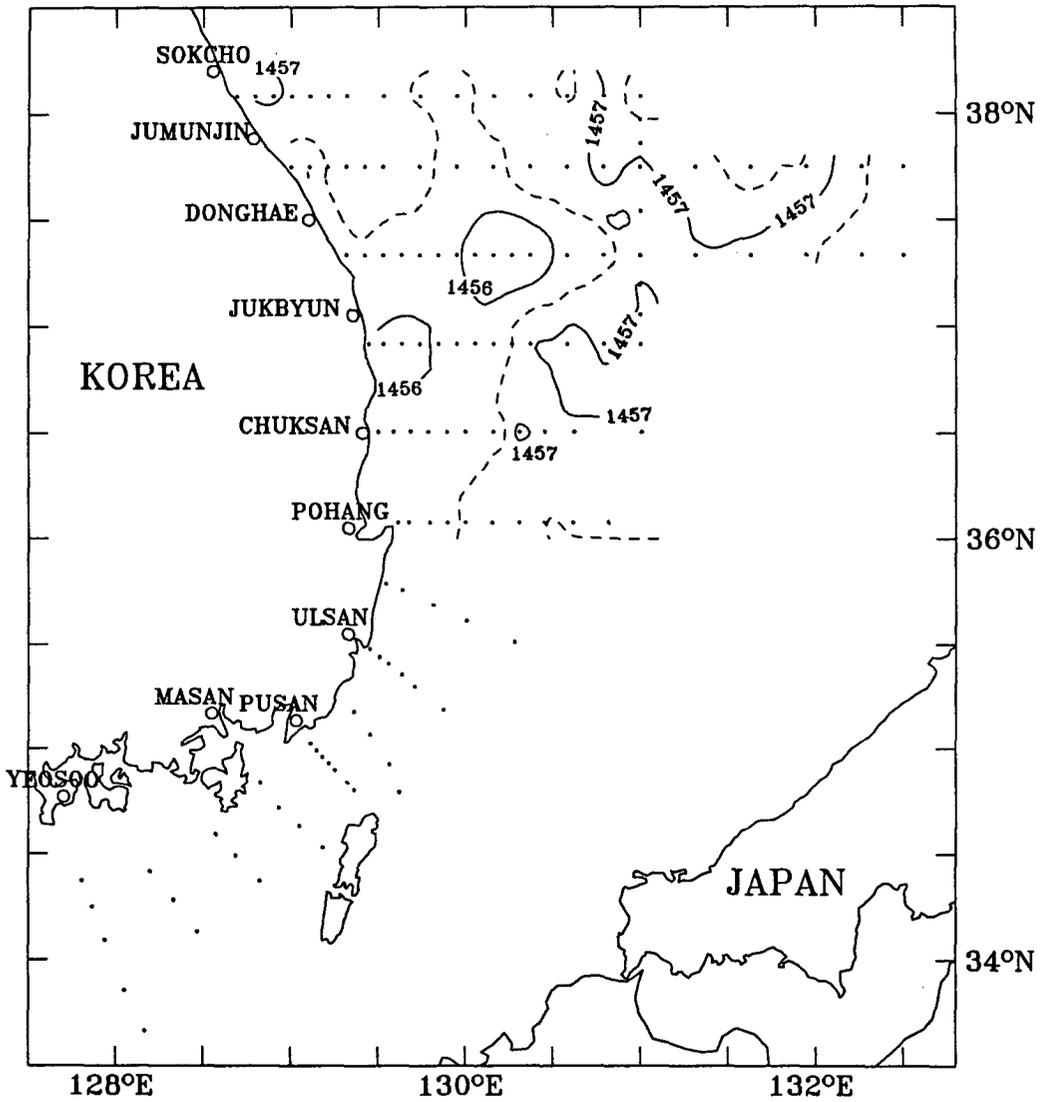


Fig. 5-34. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in October.

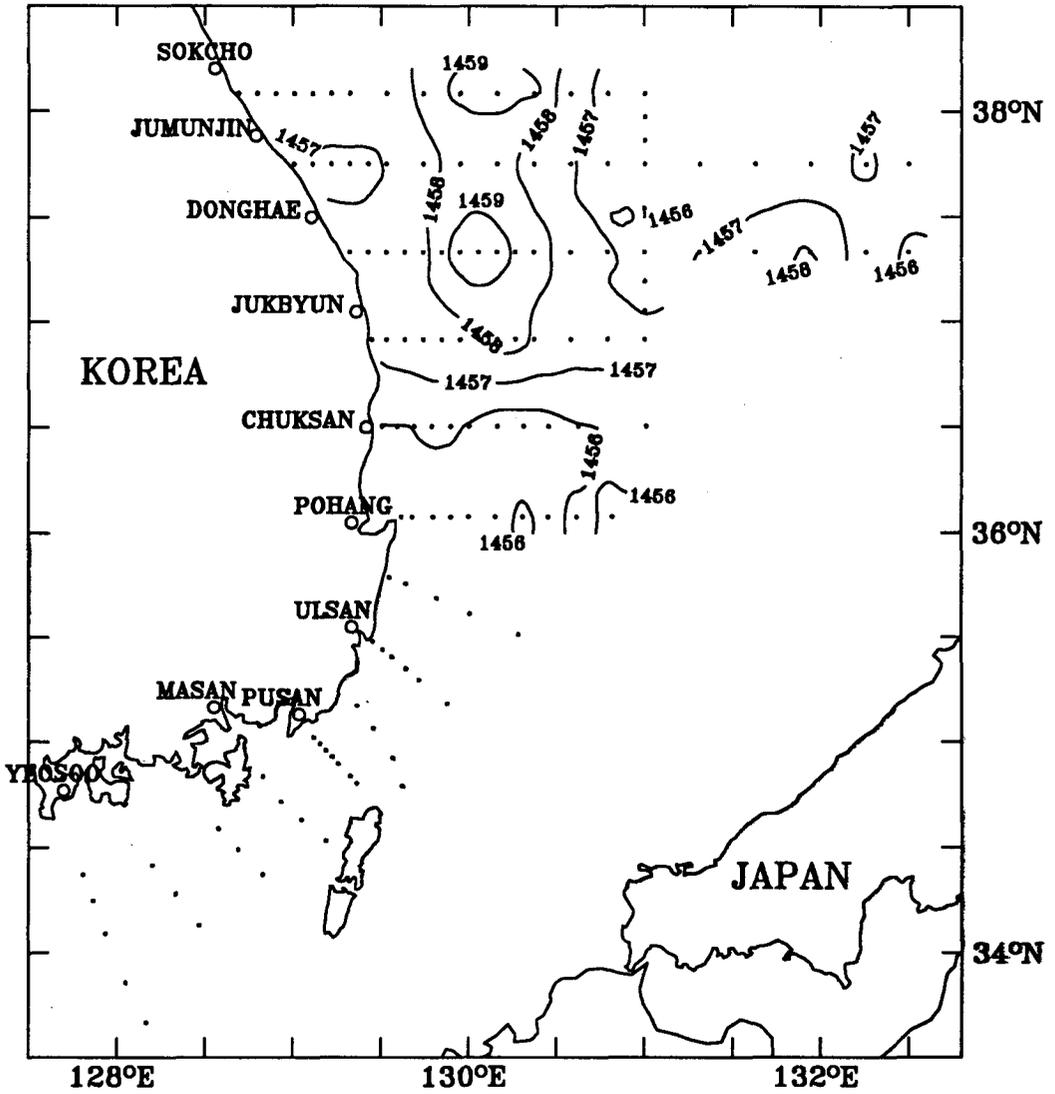


Fig. 5-35. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in November.

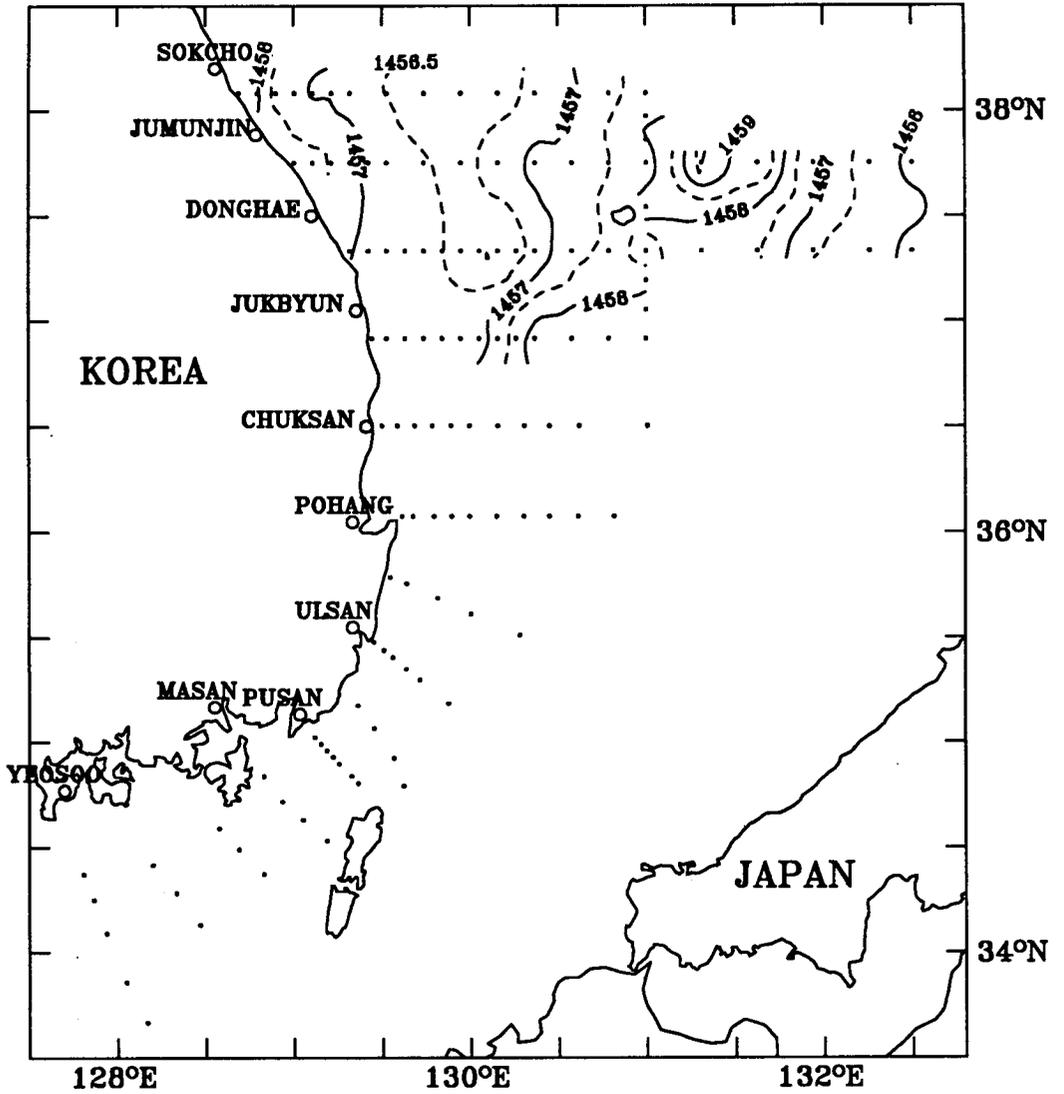


Fig. 5-36. Sound speed(m/s) at sound speed minimum layer in December.

제 6 장 결론

동해 남서부해역에서의 CTD 관측에 의해 해표면에서 해저까지 연속적으로 획득된 자료로부터 음속최소층의 형태를 파악하고자 하였고, 그 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 음향토모그래피 실험을 위해서는 음파 전달이 양호한 음속최소층을 활용하여야 하는데 동해 남서부 해역은 음속최소층의 수심이 낮아 매우 좋은 실험 조건을 갖고 있다.
2. 음속최소층은 수심 300-400m에 위치하고 3월에 최대치를 그리고 7월에 최소치를 나타내었다.
3. 음속최소층의 등심선은 해안선과 평행인 남북방향으로 향하고 있으며 해황에 따라 수심이 크게 변화한다.
4. 음파통로의 상부 한계수심은 50-200m이며 하부 한계수심은 해저에서 나타나고 있다.
5. 음속최소층에서 수온은 0.5-1.0℃, 염분은 34.02-34.12‰, 음속은 1455-1460m/s로 그 변화가 매우 작다.

참고 문헌 (References)

- 김봉채, 변상경. 1992. 동해 남서부 해역에서의 해양음향 토모그래피 실험에 관한 연구 (I: 문헌수집). 한국해양연구소 보고서. BSPE 00285-487-1, 74p.
- 변상경. 1993. 동해 남서부 해역에서의 해양음향 토모그래피 실험에 관한 연구 (II: 음파통로측). 한국해양연구소 보고서. BSPE 00301-572-1, 42p.
- Neil Brown Instrument System Inc. 1982. Mark III CTD System Manual.
- Munk, W. H. and A. M. G. Forbes 1989. Global ocean warming: an acoustic measure ? J. Phys. Oceanogr., 19, 1765-1778.
- Urick, R. J. 1983. Principles of underwater sound (3rd edition). 423p.

부 록

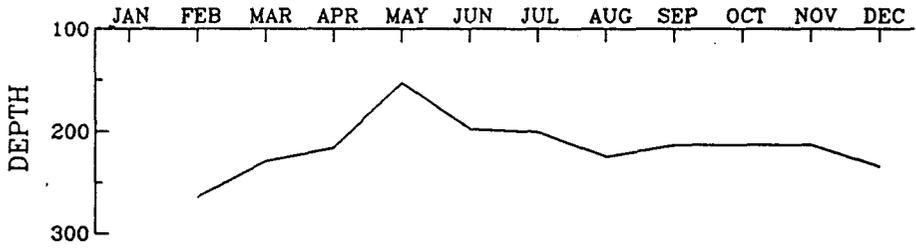
(각 정점별 음속최소층의 월 변화)

三

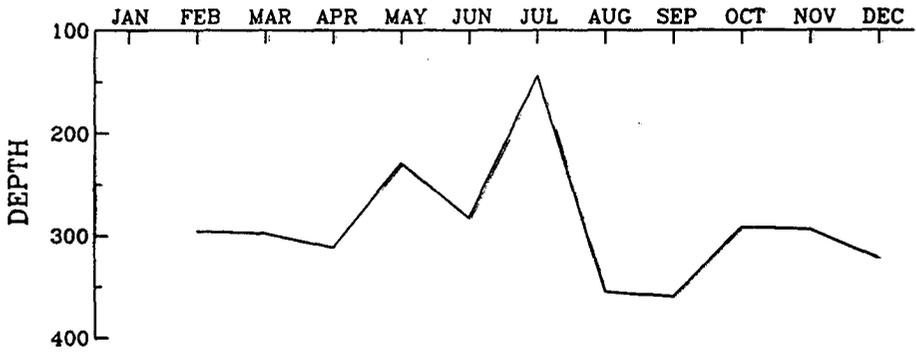
四

（注：此等全係公案，即送外）

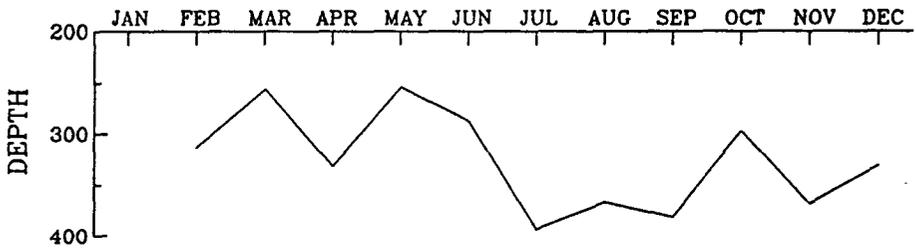
A-02



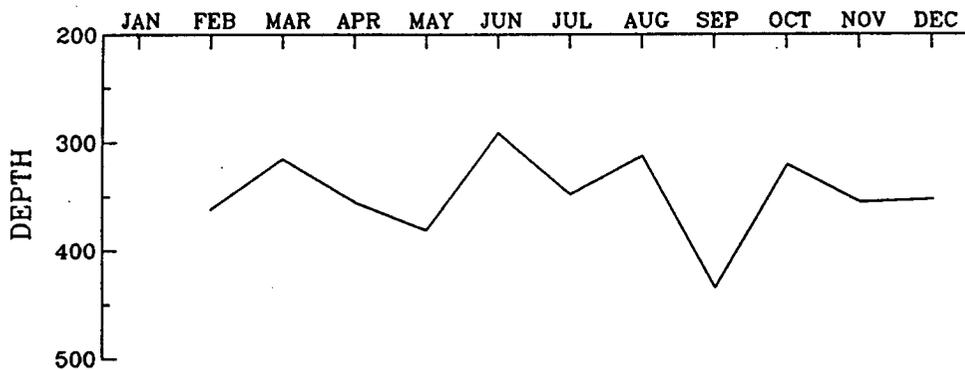
A-03



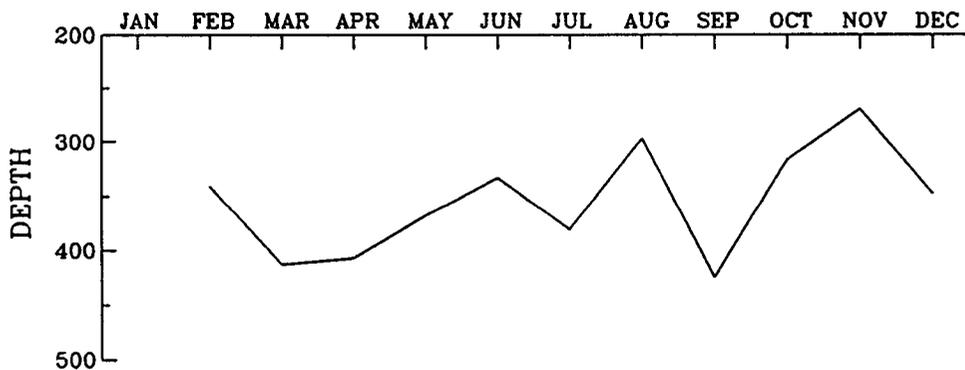
A-04



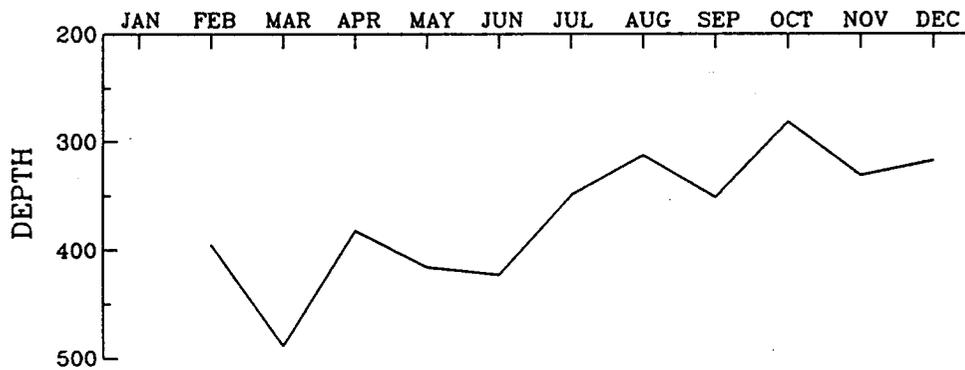
A-05



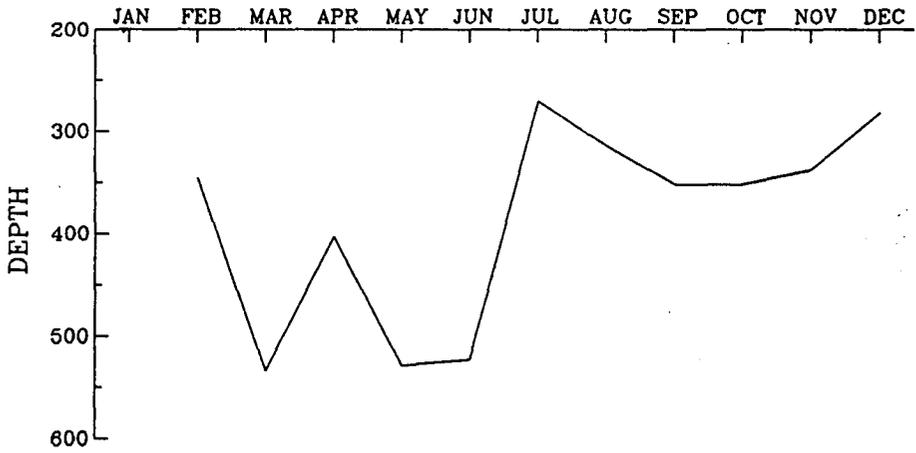
A-06



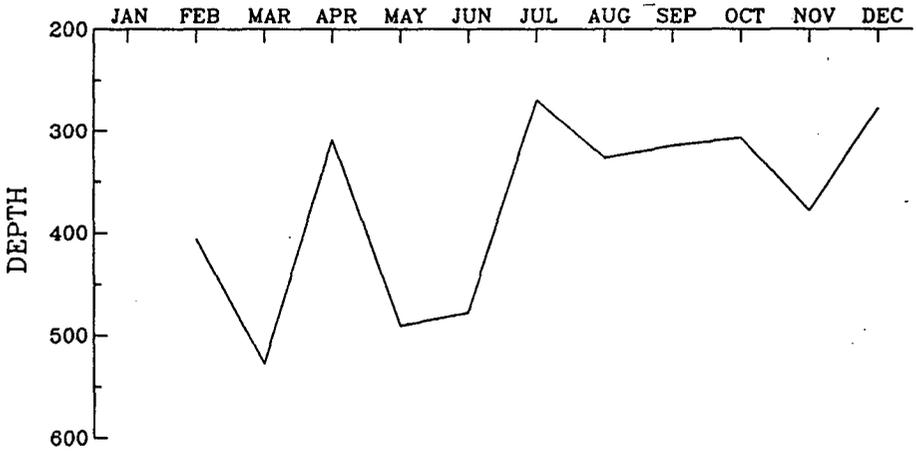
A-07



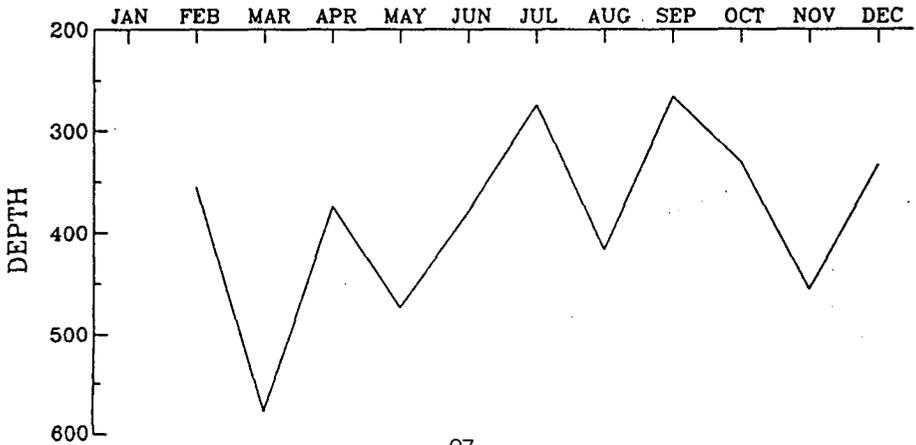
A-08



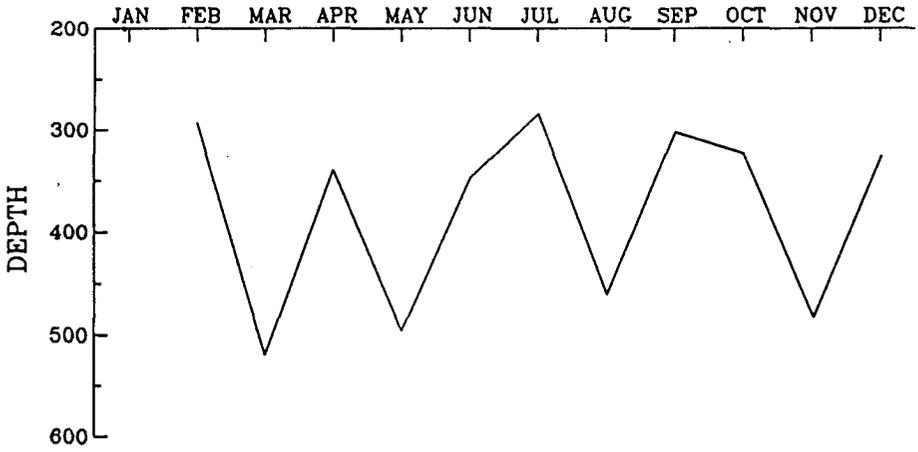
A-09



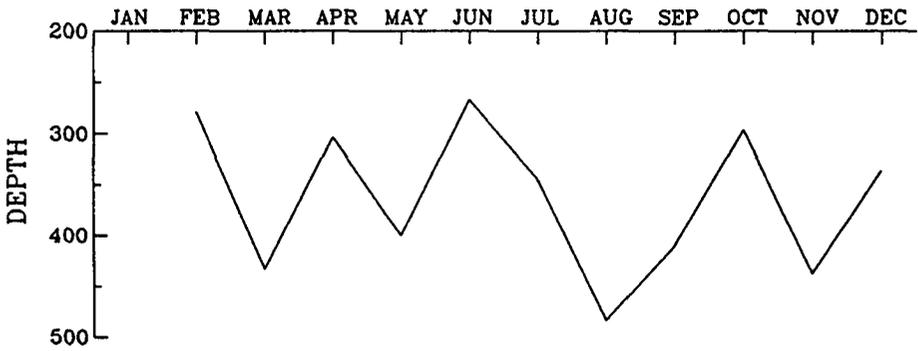
A-10



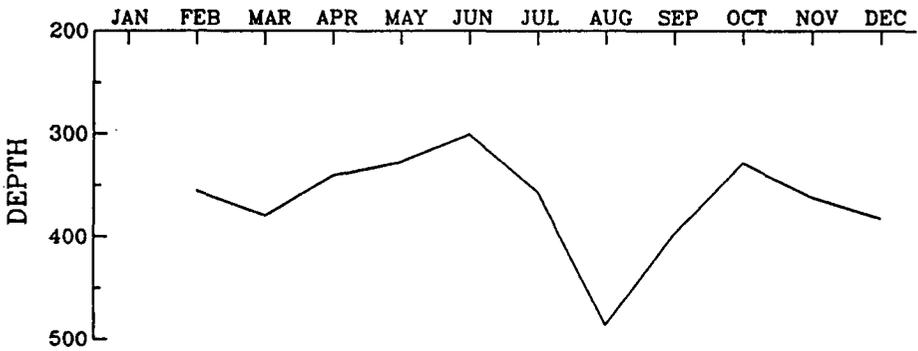
A-11



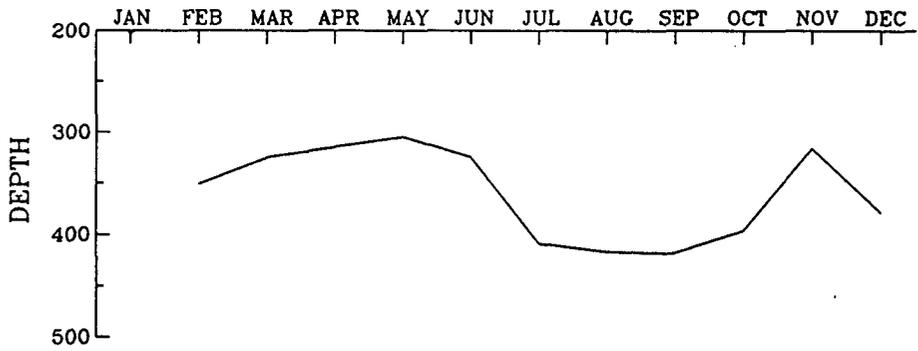
A-12



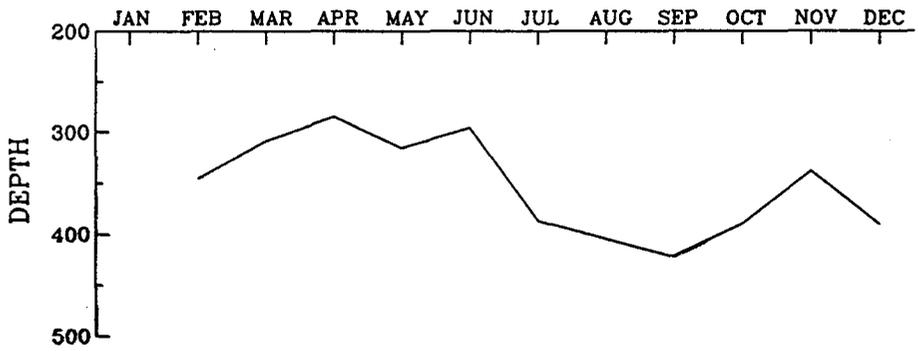
A-13



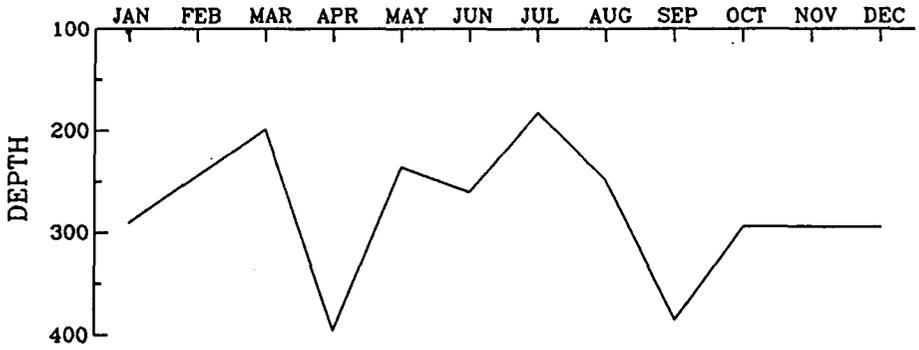
A-14



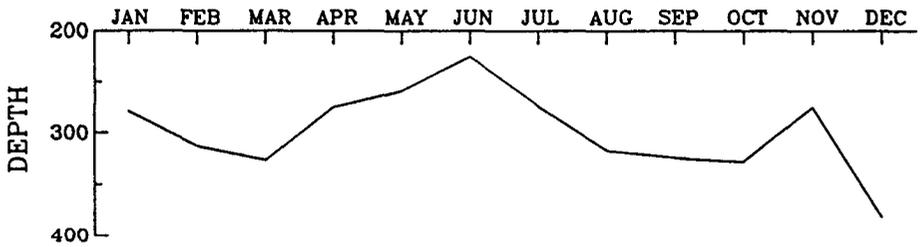
A-15



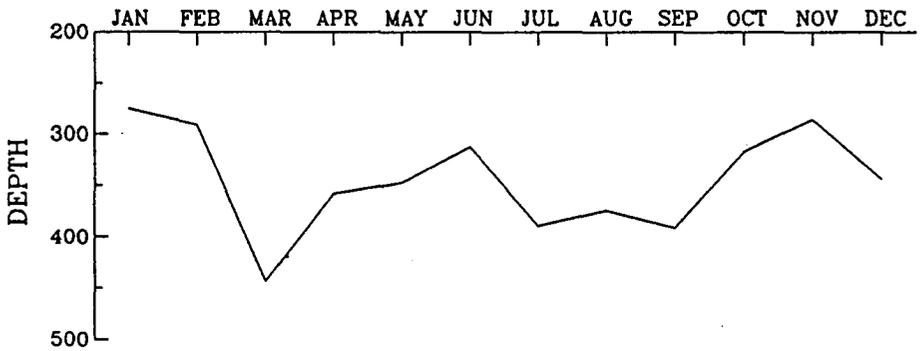
B-02



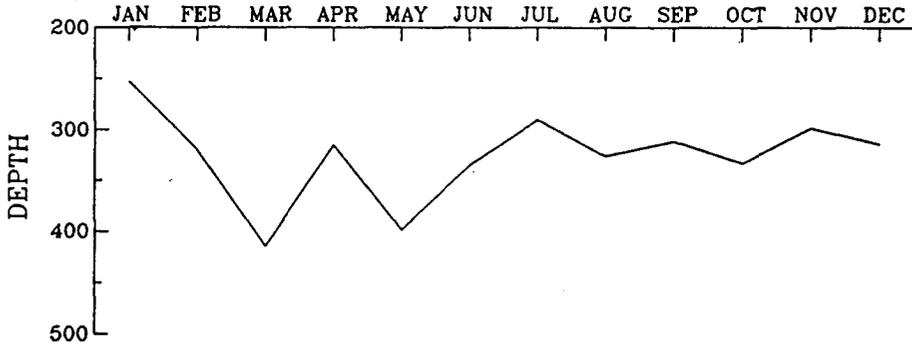
B-03



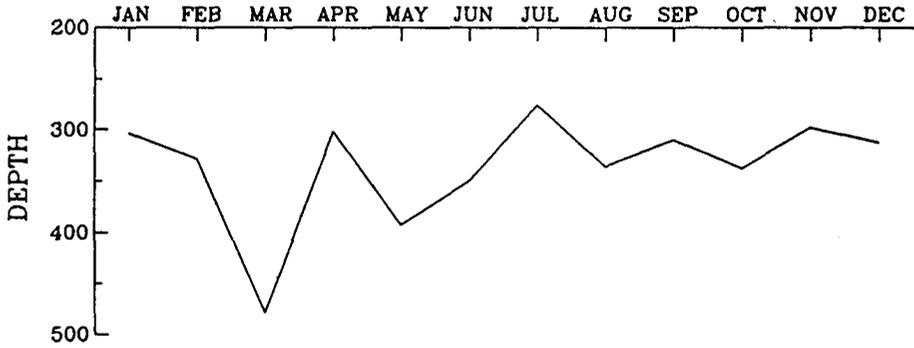
B-04



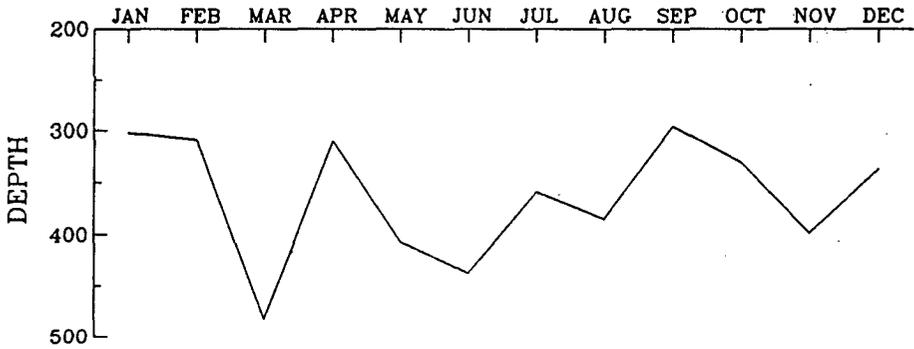
B-05



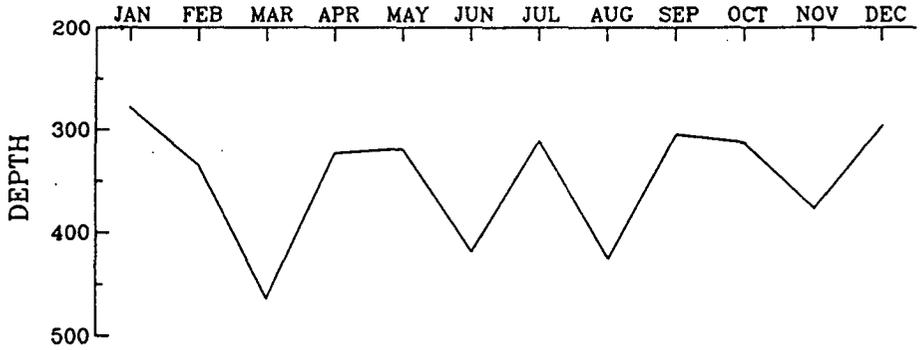
B-06



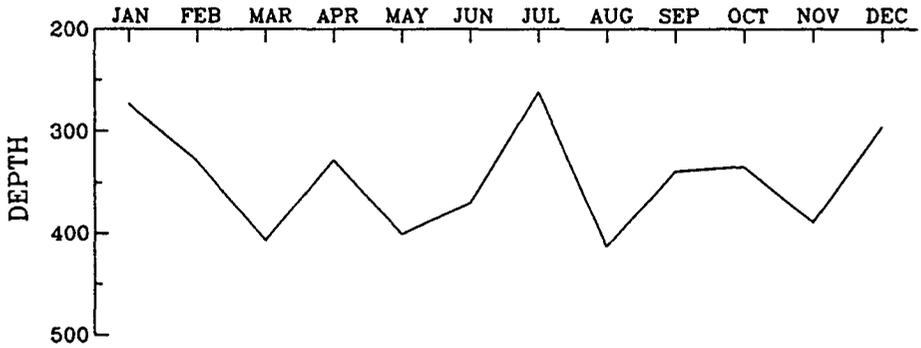
B-07



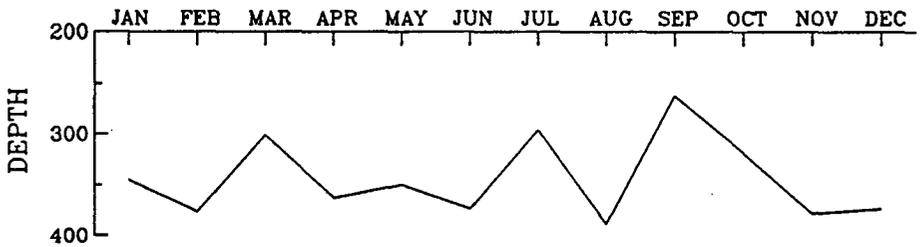
B-08



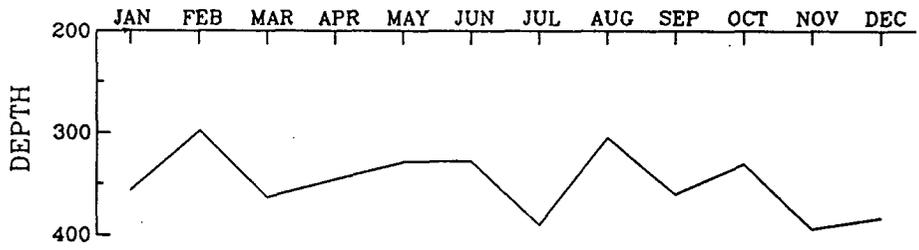
B-09



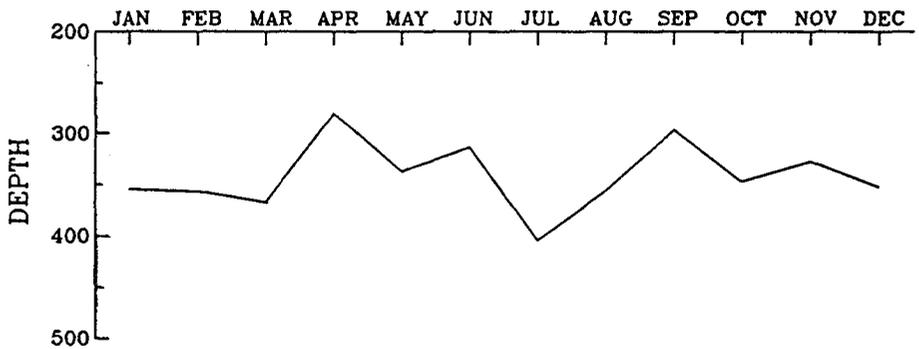
B-10



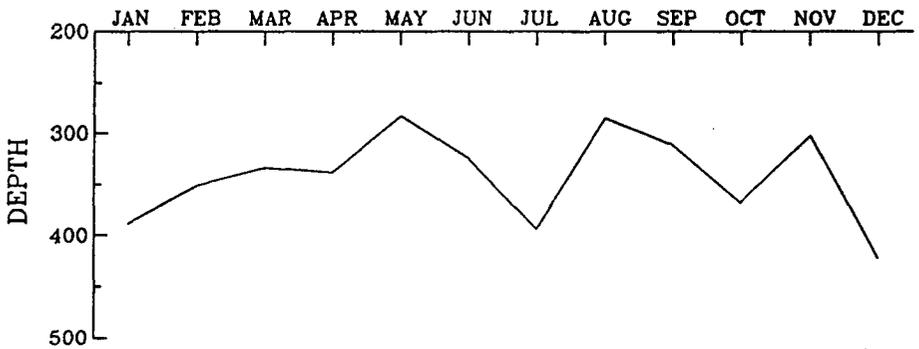
B-11



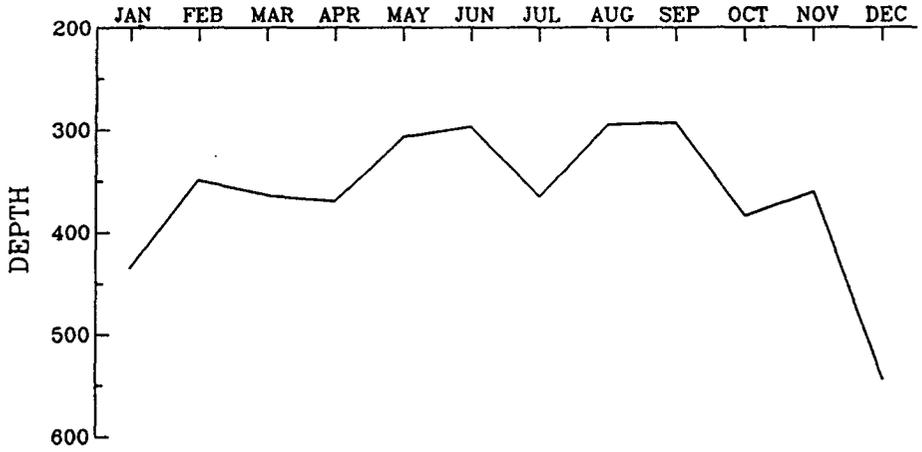
B-12



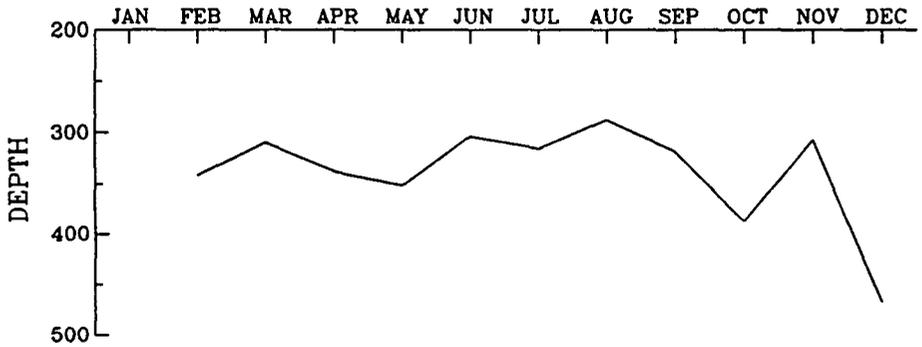
B-13



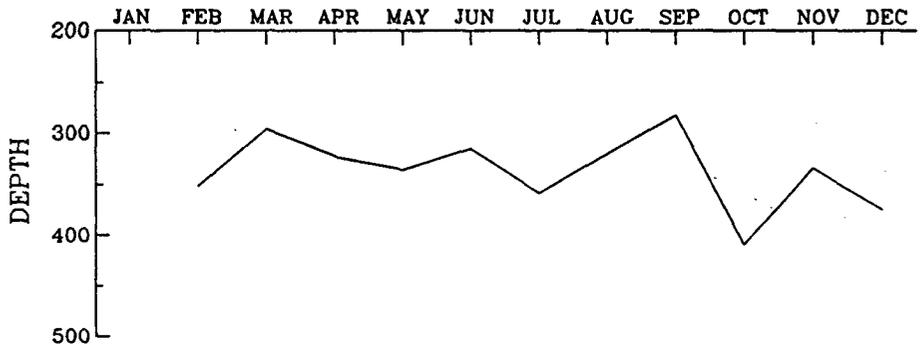
B-14



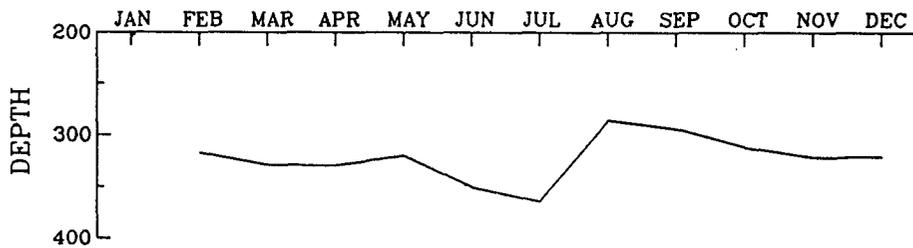
B-15



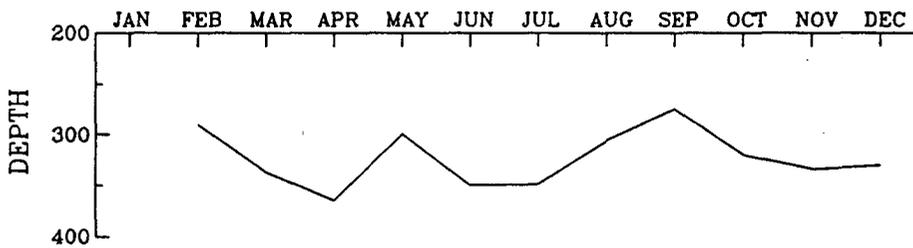
B-16



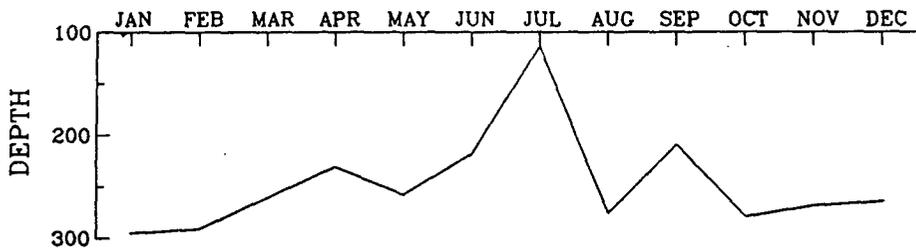
B-17



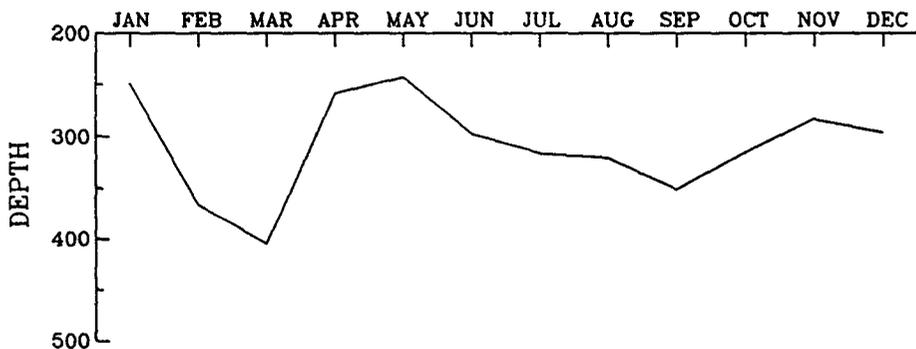
B-18



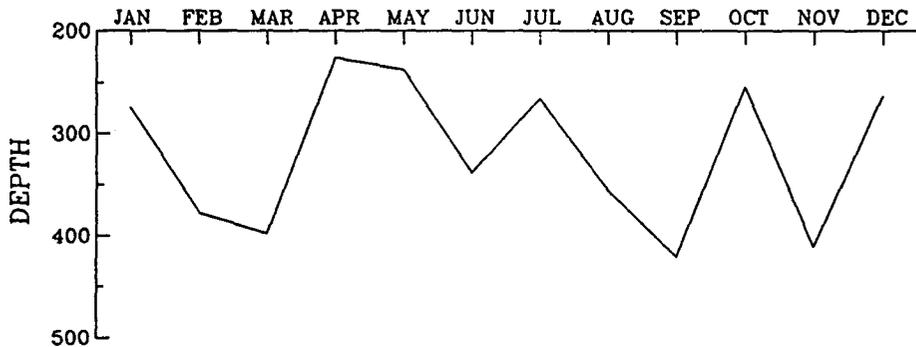
C-04



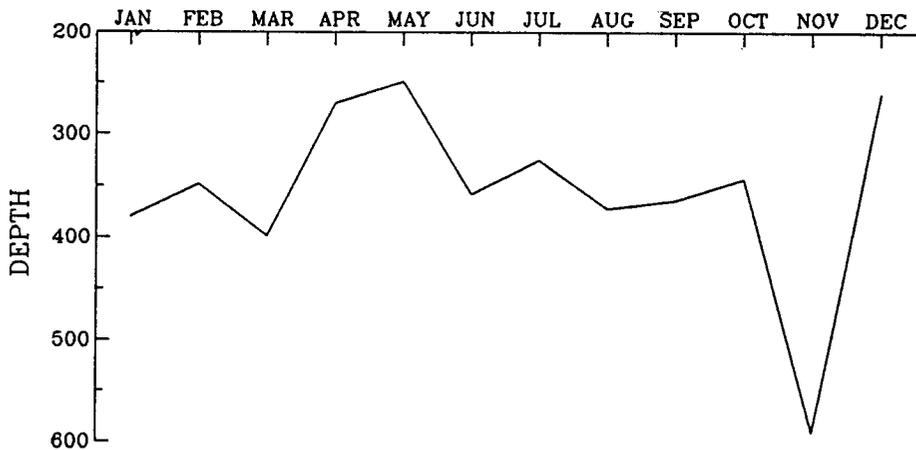
C-05



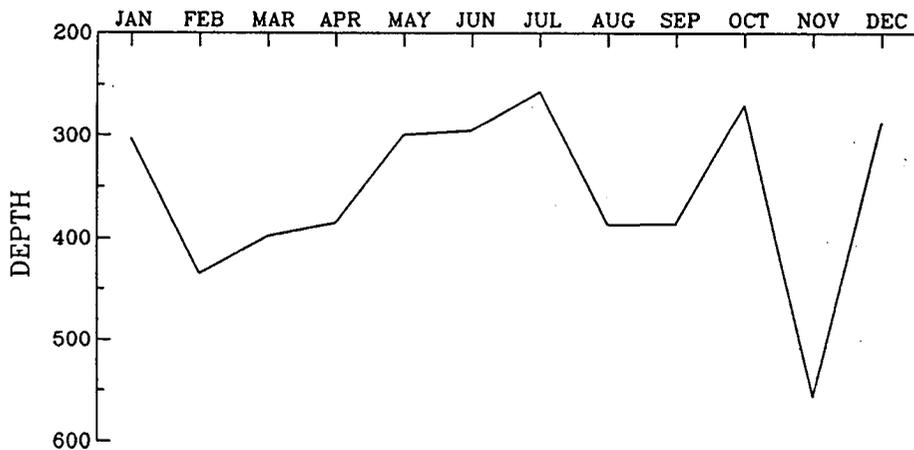
C-06



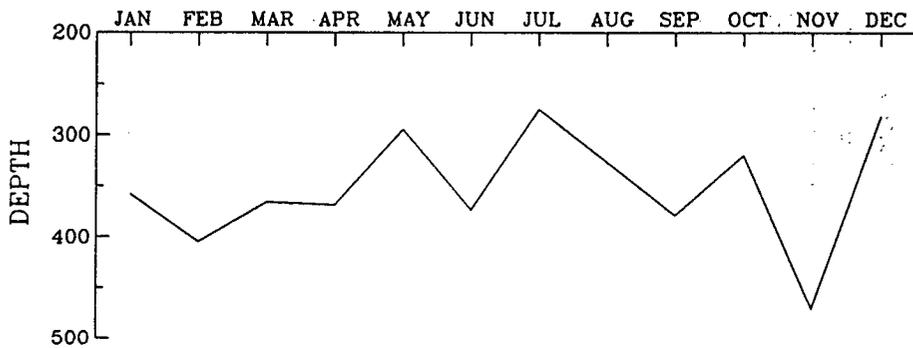
C-07



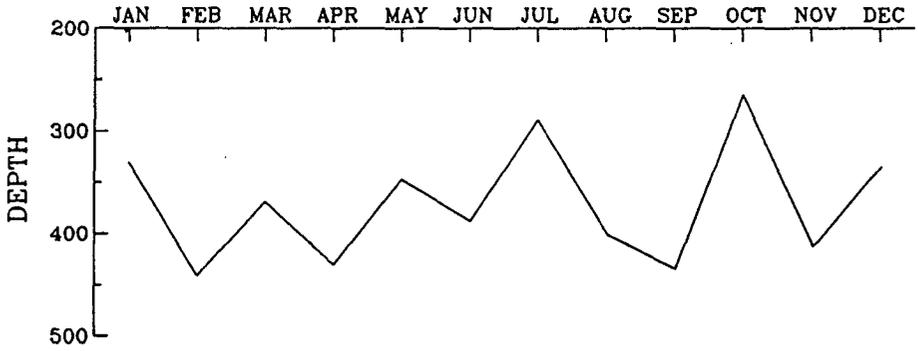
C-08



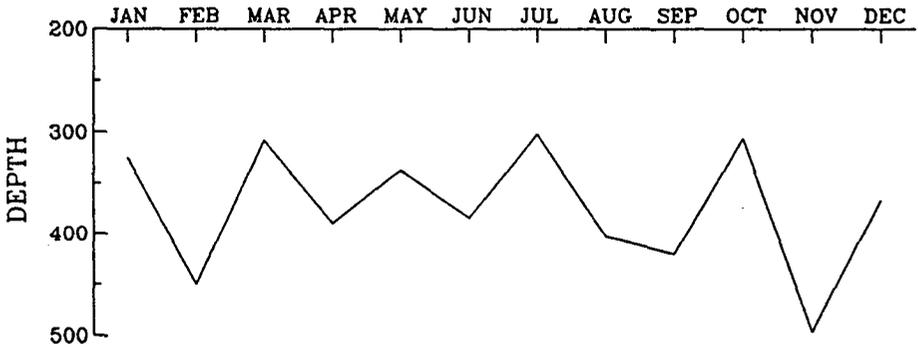
C-09



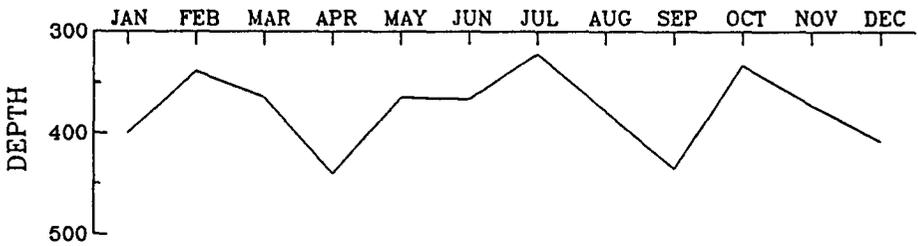
C-10



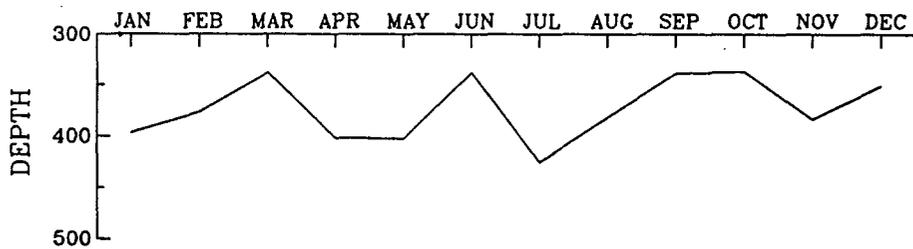
C-11



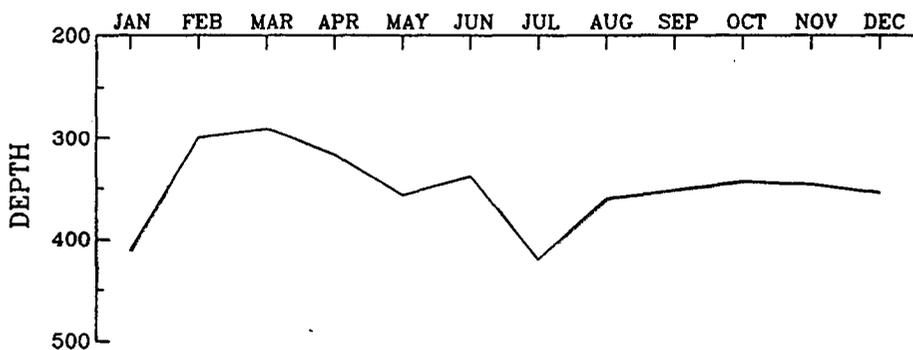
C-12



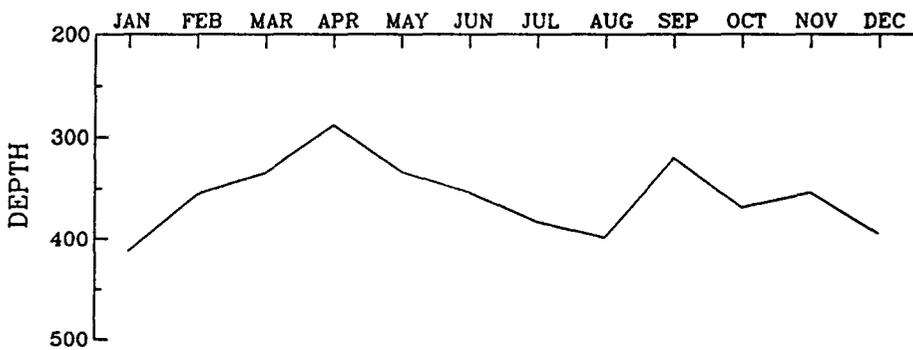
C-13



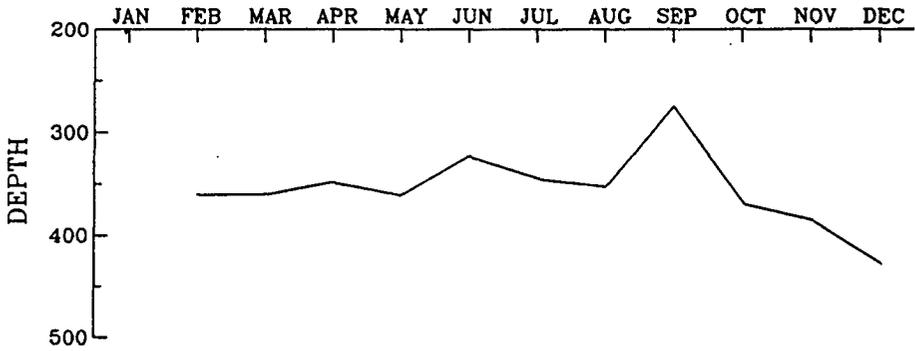
C-14



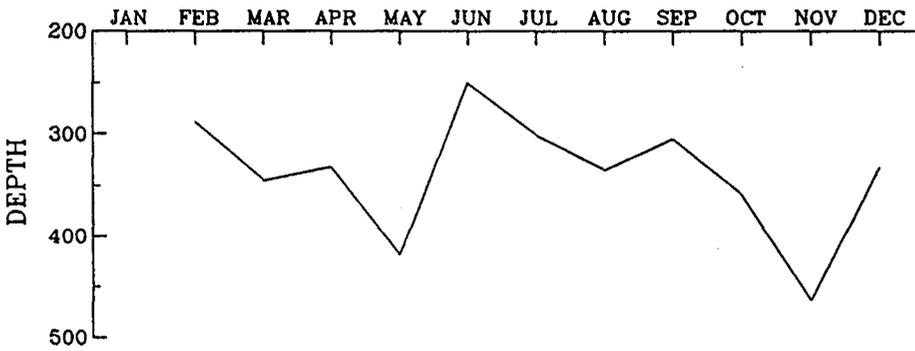
C-15



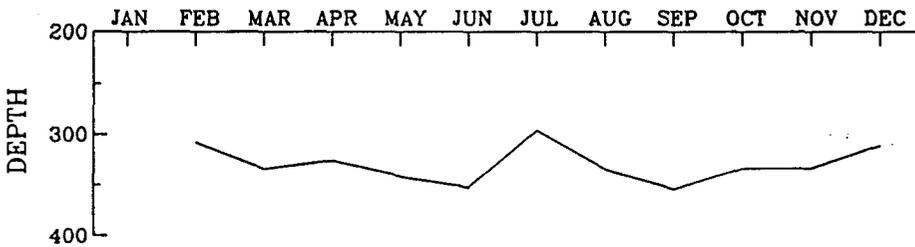
C-16



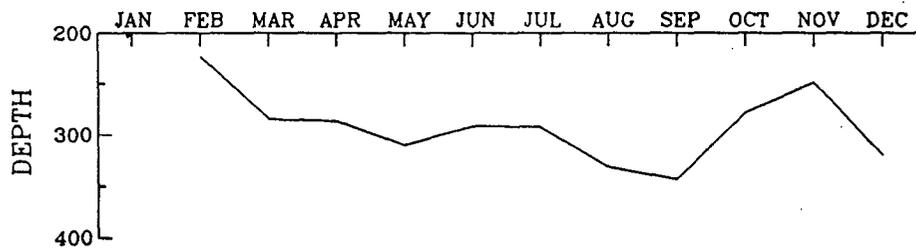
C-17



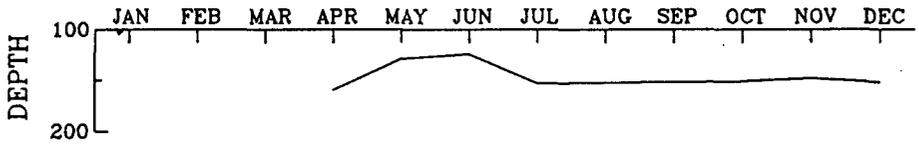
C-18



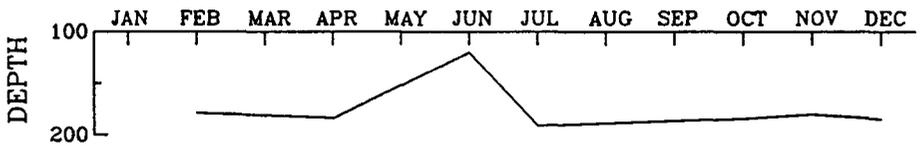
C-19



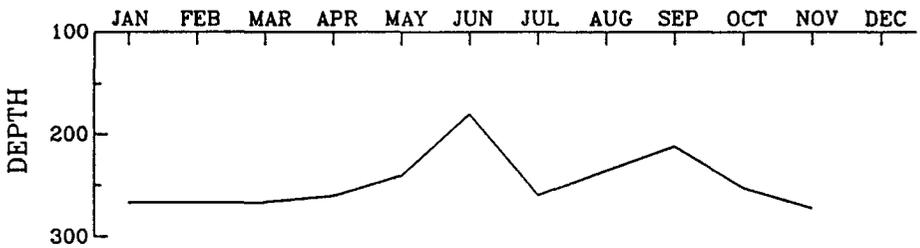
D-02



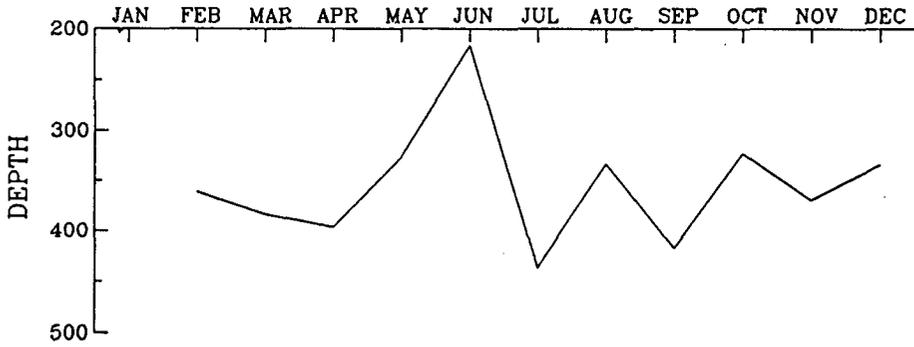
D-03



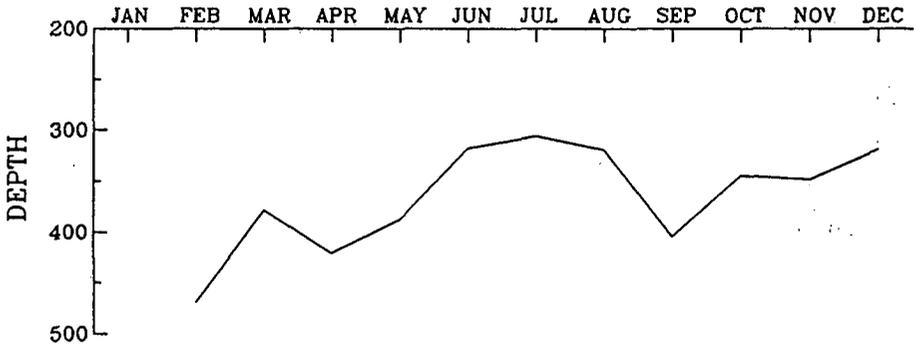
D-04



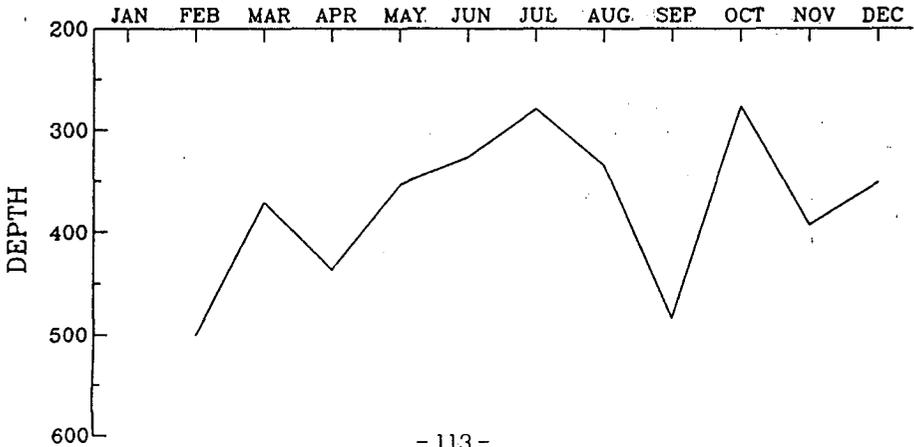
D-05



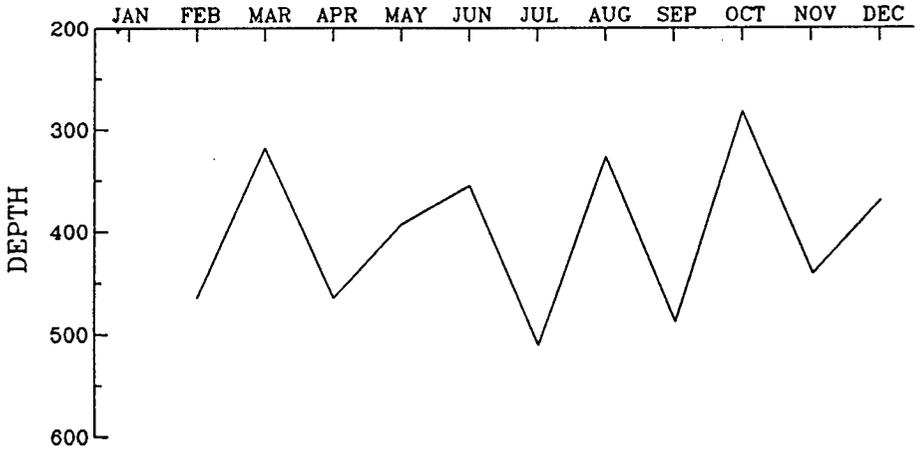
D-06



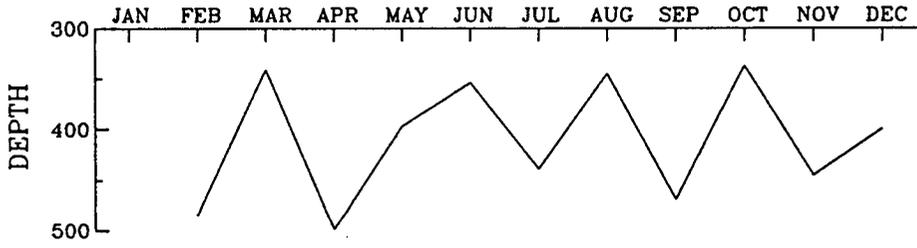
D-07



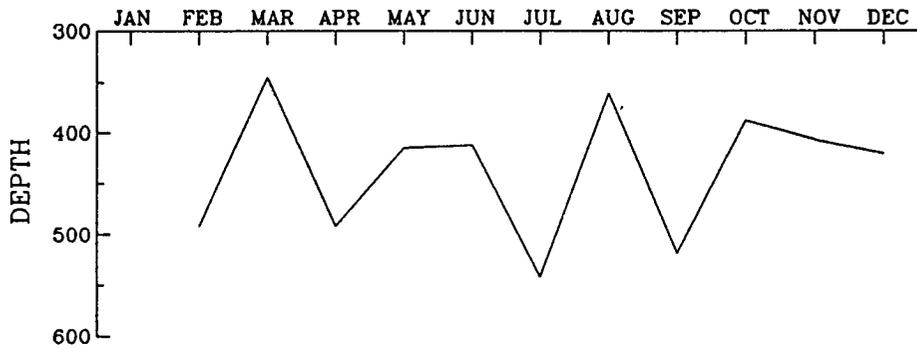
D-08



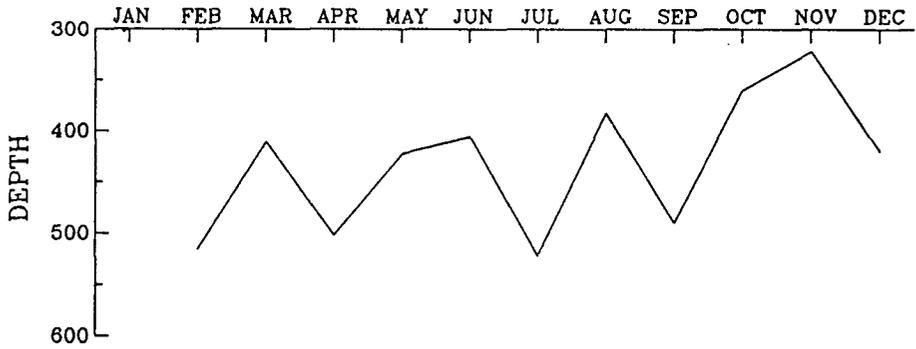
D-09



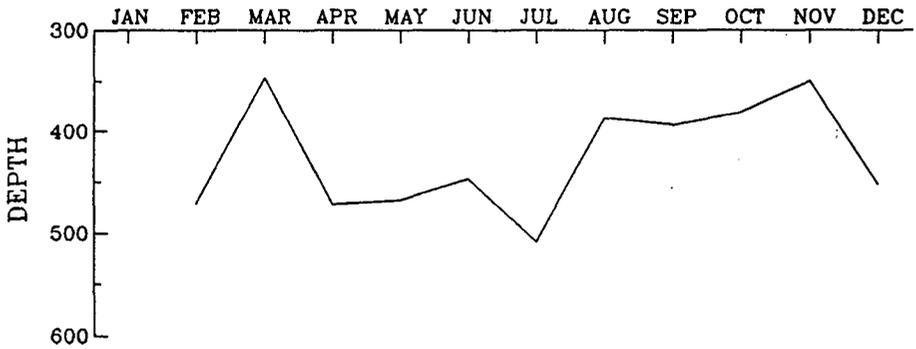
D-10



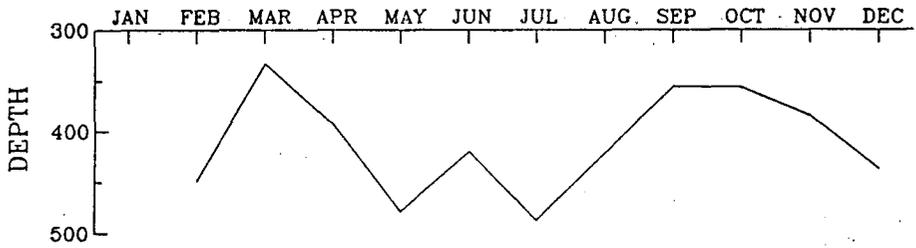
D-11



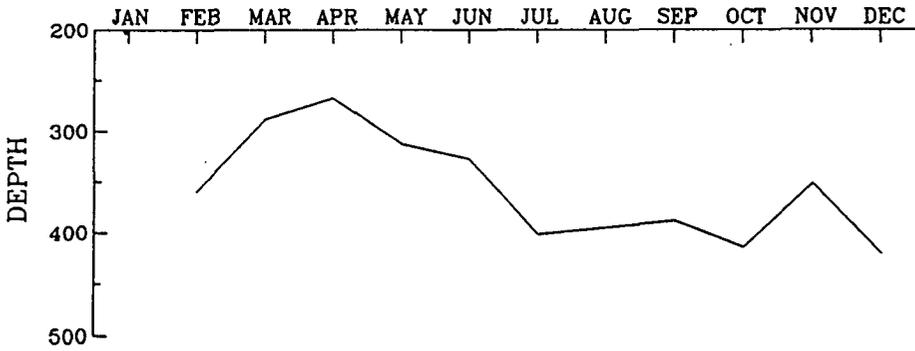
D-12



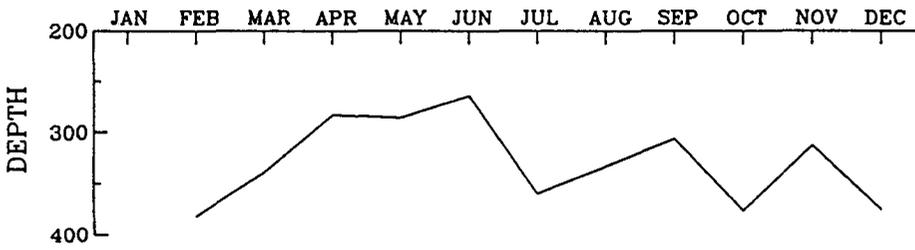
D-13



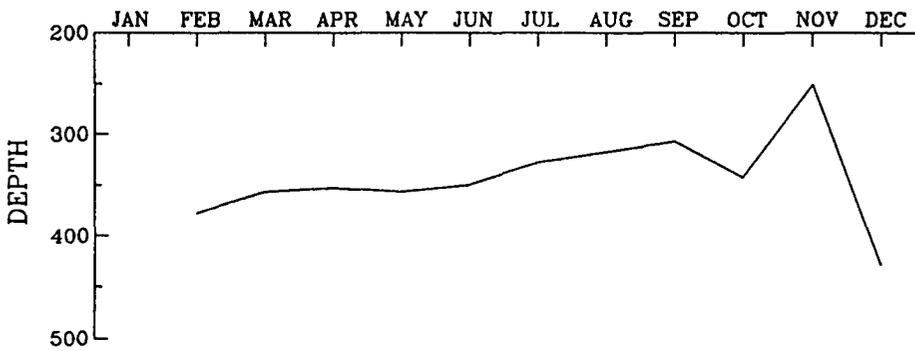
E-01



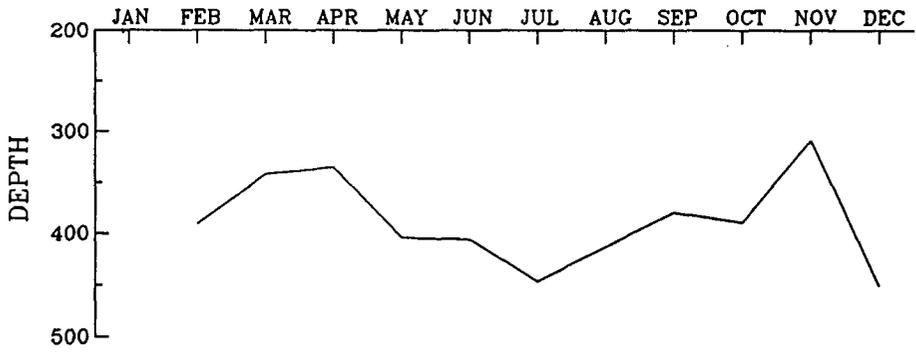
E-02



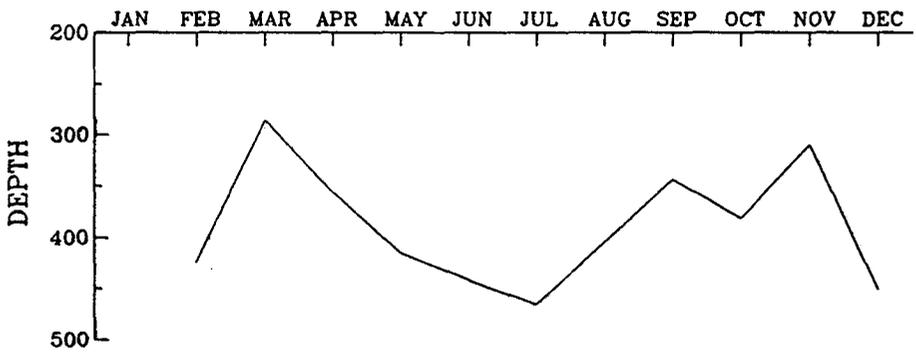
E-03



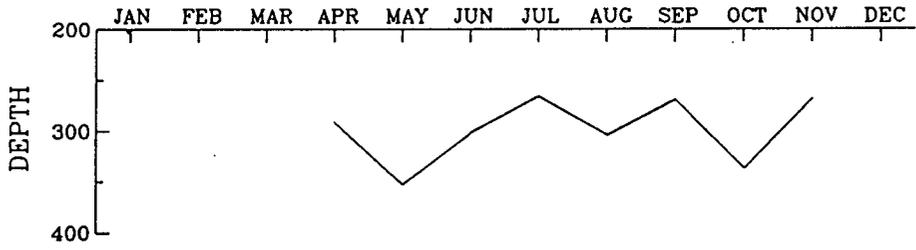
E-04



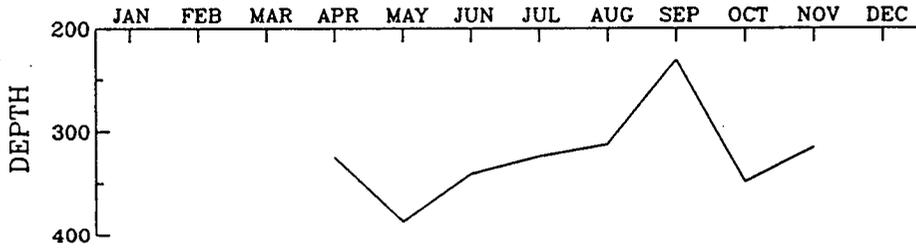
E-05



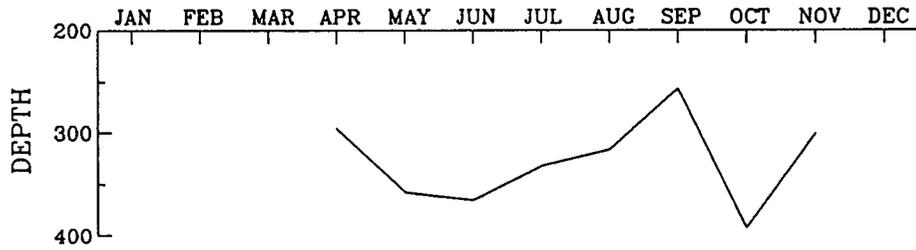
F-06



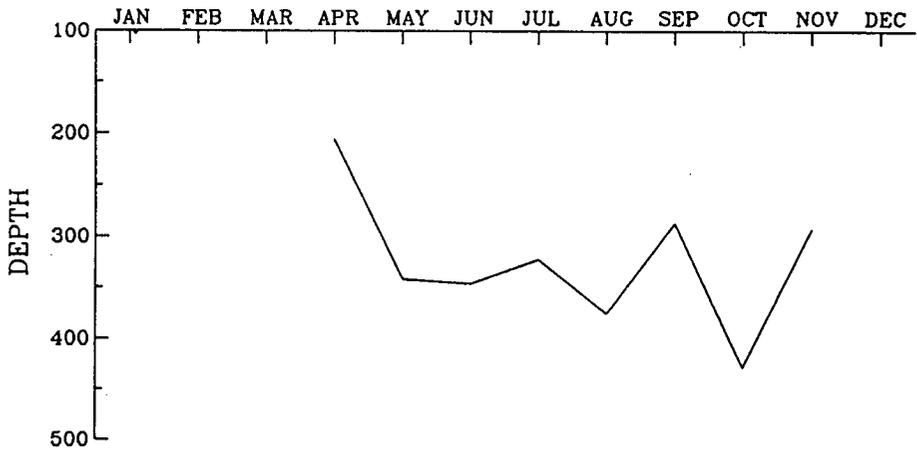
F-07



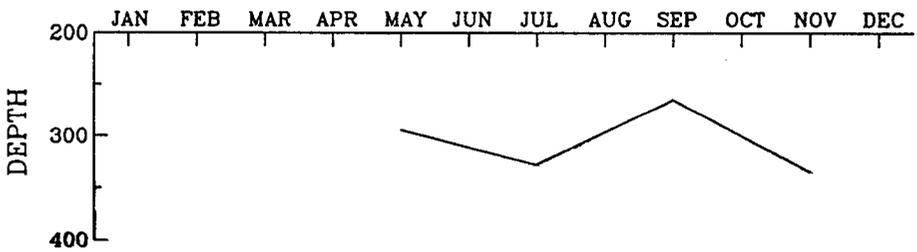
F-08



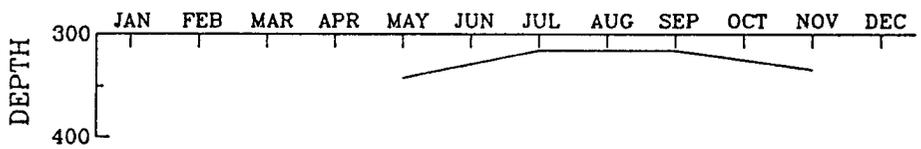
F-09



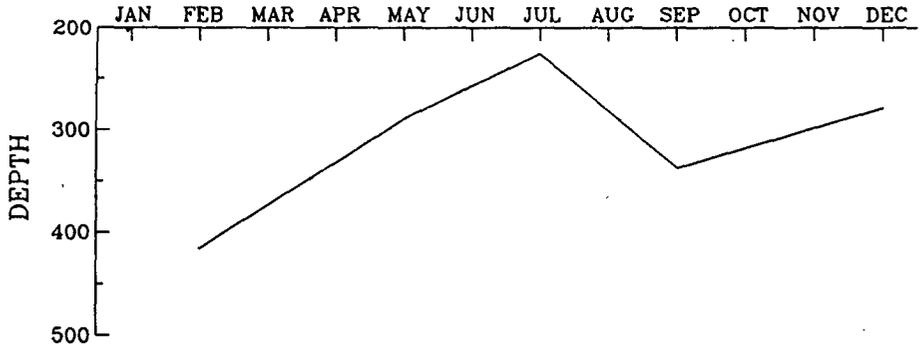
F-10



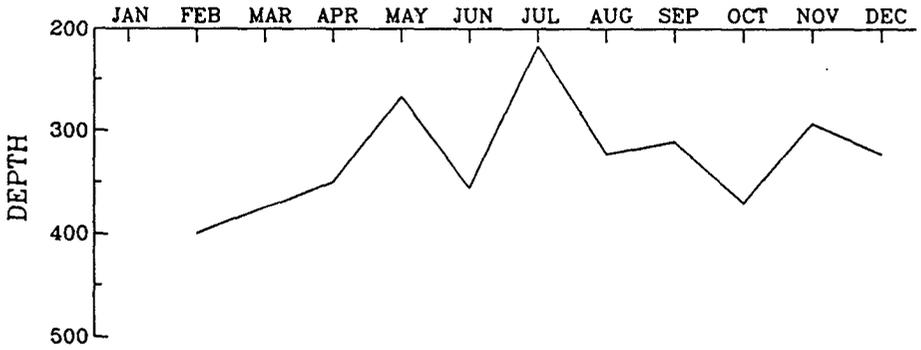
F-11



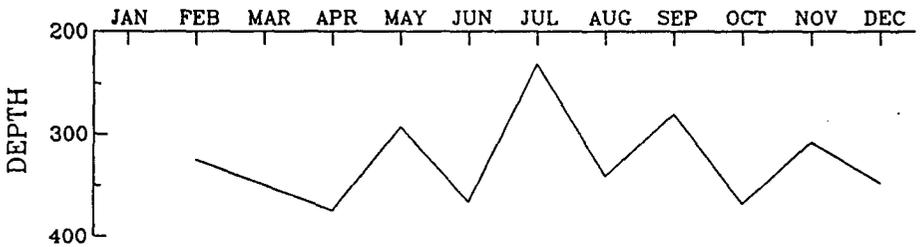
G-03



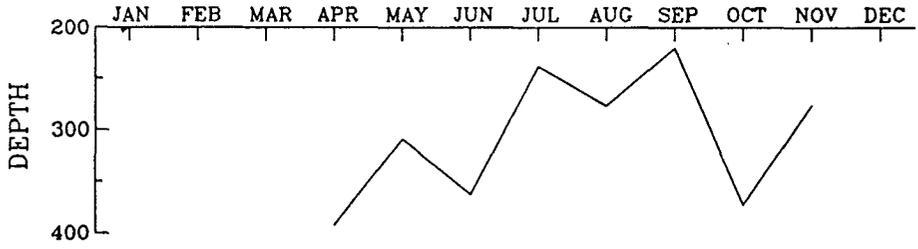
G-04



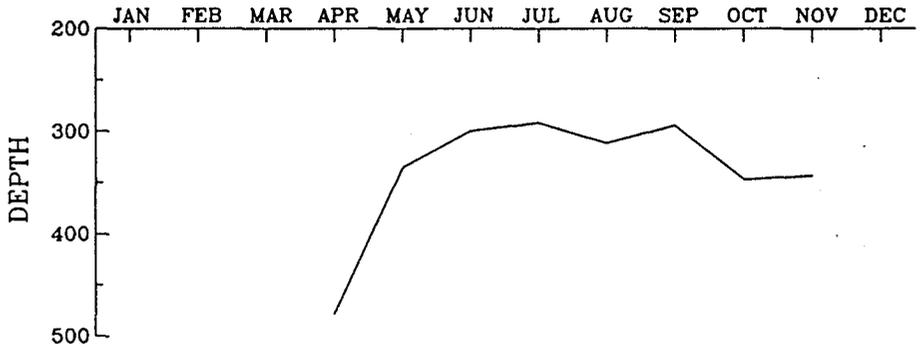
G-05



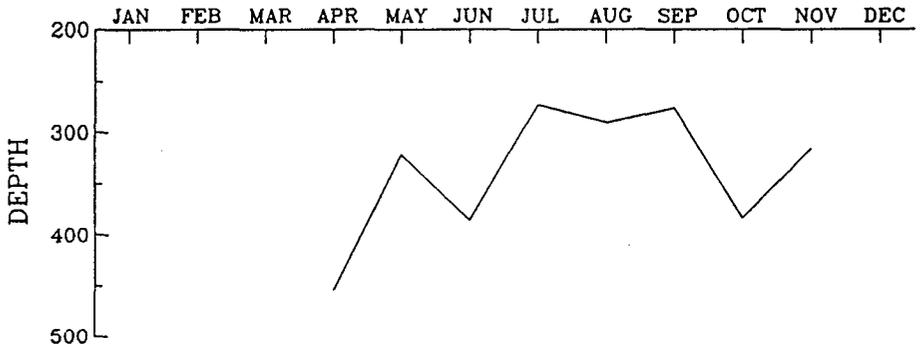
G-06



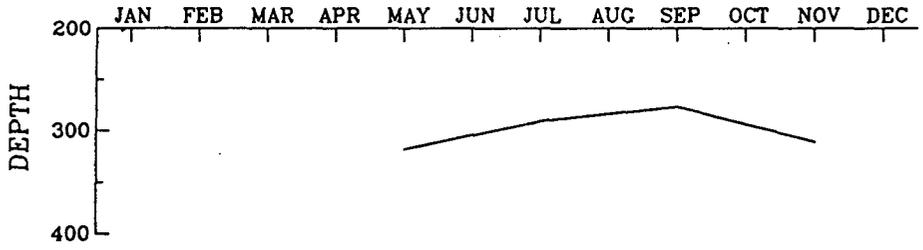
G-07



G-08



G-09



G-10

