

BSPE 97662-00-1062-7

남극 세종기지 지진관측 자료분석 및
자료집 작성(1990~1996)

Analysis and Compilation of the Earthquake Data
obtained at King Sejong Station, Antarctica(1990~1996)

1998. 2.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소 소장 귀하

본 보고서를 '남극 세종기지 지진관측 자료분석 및 자료집 작성 (1990~1996)' 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1998년 2월

연구책임자: 진영근

참여연구원: 이덕기,

김규중,

윤용정

요 약 문

I. 제목

남극 세종기지 지진관측 자료분석 및 자료집 작성(1990~1996)

II. 연구 목적 및 중요성

이 연구의 목표는 남극 세종기지에서 1990년부터 1996년까지 기록된 지진자료를 분석하고 정리하여 이 지역의 지진활동의 경향을 연구하고, 관심있는 사람에게서는 우리의 자료를 쉽게 이용할 수 있도록 자료집을 작성하기 위함이다. 1989년부터 1996년까지 드럼 기록계에 기록된 아날로그 자료들은 전산 자료화하며, 1995년과 1996년의 디지털 자료에 대해서는 일차적인 자료처리 및 분석을 실시하여 정량적인 해석을 실시하였다. 세종기지에서의 지진 관측은 아직 명확하게 규명되지 않은 남극반도 북부 지역의 복잡한 판구조운동에 대한 중요한 자료를 제공할 것이다.

III. 연구 내용 및 범위

이 연구에서 수행될 내용은 다음과 같다.

1. 1990년부터 1996까지 세종기지에서 관측된 지진자료의 수집과 정리
2. 자료 처리 및 지진 특성분석
3. 연별 지진 발생 통계 및 지진활동성 연구
4. 지진의 진앙 및 규모등 지진 변수의 일차적인 결정
5. 정리된 자료의 자료집 작성

IV. 연구 결과 및 제언

이번 연구에서는 1990년부터 1996년까지 기록된 지진들을 정리하고 분석하여 기지주변에서 발생한 지진활동의 특성을 파악하였다. 이 지역의 지진활동은 브랜스필드 해협이 성인에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 지진 발생 가능성에 대한 통계적인 자료를 제시한다. 총 1300여장의 지진기록지를 판독하고, 100여개의 디지털 자료를 분석한 결과 604개의 지진을 식별할 수 있었다. 이들 중 IRIS 자료 목록에 포함된 지진들도 다수가 기록되었는데, 대부분은 규모가 5.0이상이었으며, 주로 나즈카와 남아메리카판의 경계, 샌드위치 아크, 통가 지역에서 발생한 것들이었다.

지진발생횟수는 전반적으로 1992년 이후로 증가하는 추세를 보이며, 1994년과 96년에 지진활동이 활발한 것으로 나타나는데, 그 이유는 주로 군발지진의 지진활동에 의한 것으로 파악된다. 판독된 국지지진들을 P-S시로 볼 때 15초와 29초의 이벤트가 많이 나타나는데, 이들은 주로 디셉션 섬이나 동부 브랜스필드 해협 그리고 세클톤 파쇄대 또는 남스코시아 해령에서 발생한 지진일 가능성이 높다. 또한 국지지진의 평균 규모는 3.47으로, 원거리에 위치한 전세계 지진망에는 포착되지 않는 지진이 많다. 이는 그 동안 이 지역의 지진연구에 이용되었던 자료에서 지진활동이 없는 지역으로 분류된 지역에서도 실제로 지진활동이 활발하게 진행되고 있음을 보여준다. 따라서 세종기지에서 기록된 최근의 지진자료는 남극반도 북부의 복잡한 지체구조운동을 규명할 수 있는 중요한 자료가 될 것으로 예상된다. 앞으로 보다 심도있는 지진연구를 수행하기 위해서는 광역주기 지진계와 같은 지진관측장비의 보완이 요구되며, 이를 통해 명실상부한 국제적인 남극지진관측기지로서의 역할을 수행할 수 있다,

SUMMARY

I. Title

Analysis and compilation of the earthquake data obtained at King Sejong Station, Antarctica (1990~1996)

II. Significance and Objectives of the Study

The Objectives of this study is to compile and to analyze the earthquake data obtained at King Sejong Station from 1990 to 1996 for investigating seismic activity around the northern Antarctic Peninsula. Earthquake data report is also provided to the investigators concerned. Among data from 1990 to 1996, analog data are converted into computerized image data and digital data (1995 to 1996) are analyzed by quantitative methods. The earthquake data observed at King Sejong Station will provide an important clue to illuminate the complex tectonics around the northern Antarctic Peninsula.

III. Scope of the Study

1. Compilation of earthquake data obtained at King Sejong Station from 1990 to 1996.
2. Data processing and analysis of characteristics of earthquakes
3. Statistical analysis of earthquake occurrence
4. Determination of earthquake parameters
5. Publication of data report

IV. Results and Further Suggestions of the Study

We have analyzed analog seismograms recorded at King Sejong Station during the period from 1990 to 1996, for recognizing the characteristics of the regional seismic activity. These data provide information on local tectonics including the origin of the Bransfield Strait and on earthquake activity in the surrounding area. We have identified 604 earthquake events from 1300 recording paper and 100 digital data. A lot of the events (100 events) among them were also listed in the IRIS earthquake catalogs, which are large events (> 5.0) occurred along the tectonic boundaries including Nazca plate boundary, South America plate boundary, Sandwich arc and Tonga.

The number of events recorded in King Sejong station has been increasing since 1992. Large swarms of events have been occurred at 1994 and 1996. Local events with P-S time 15 and 29 seconds are dominant in our data set. The possible epicenters of these local events are Deception Island or the eastern Bransfield Strait and Shackleton Fracture Zone or South Scotia Ridge. The average of the magnitude for the local earthquakes is 3.47 in Richter scale. Most of small events were not reported in the worldwide seismic network. Therefore our data shows new active areas that were classified into inactive areas in the previous earthquake studies using the worldwide earthquake catalogs. For further study, broad-band seismometer system is requisite in the King Sejong Station.

CONTENTS

LIST OF TABLES	11
LIST OF FIGURES	11
CHAPTER 1. INTRODUCTION	13
CHAPTER 2. OVERVIEW	14
1. Tectonic Setting	14
2. Previous Studies	18
CHAPTER 3. OBSERVATION SYSTEM	20
1. Instruments	20
2. Characteristics	21
3. Site and Install	27
CHAPTER 4. ANALYSIS OF EARTHQUAKE DATA	27
1. Methods	27
2. Determination of source parameters	29
a) Back-Azimuth Estimation	29
b) Distance, Magnitude, and Location Estimation	31
CHAPTER 5. SEISMIC ACTIVITY	34
CHAPTER 6. DISCUSSION AND CONCLUSION	43
REFERENCES	45
APPENDIX I. HEADER OF DIGITAL DATA	49
APPENDIX II. LIST OF EARTHQUAKES	61
APPENDIX III. ANALOG EARTHQUAKE DATA	77
APPENDIX IV. DIGITAL EARTHQUAKE DATA	109

목 차

표 목차	11
그림 목차	11
제 1 장. 서 론	13
제 2 장 개 요	14
1. 지체구조	14
2. 기존 연구결과	18
제 3 장. 관측장비	20
1. 장비구성	20
2. 장비특성	21
3. 장소와 설치	27
제 4 장. 자료 분석	27
1. 방법	27
2. 지진 변수 결정	29
가) 역방위각 측정법	29
나) 거리, 규모 및 진앙 결정	31
제 5 장. 지진활동성	34
제 6 장. 결론 및 토론	43
참고문헌	45
부록 I. 디지털 자료의 HEADER	49
부록 II. 관측지진 목록	61
부록 III. 아날로그 지진자료	77
부록 IV. 디지털 지진자료	109

LIST OF TABLES

Table 1. Instrument's constant value of PS-2 Drum recorder and SS-1 Ranger Seismometer	23
Table 2. List of local earthquakes around King Sejong Station and the parameters for the magnitude calculation	33

LIST OF FIGURES

Figure 1. Location of the King Sejong Station	15
Figure 2. Tectonic setting of the northern Antarctic Peninsula	17
Figure 3. Seismicity around the northern Antarctic Peninsula	19
Figure 4. Seismic observation system of the King Sejong Station	22
Figure 5. Period response curve. (a) is the basic mode, and (b) is the asymptotic magnification for the Wood-Anderson mode	25
Figure 6. An example of data analysis using SEDSL algorithm proposed by Magotra et al. (1987)	30
Figure 7. An example of identification of P and S phases	32

Figure 8. Examples of short-period seismograms recorded at King Sejong Station, Antarctica	35
Figure 9. Annual number of earthquakes observed at the King Sejong Station from 1990 to 1996	36
Figure 10. Monthly number of earthquake observed at the King Sejong Station from 1990 to 1996	37
Figure 11. Teleseismic events recorded at the King Sejong Station. Their location were reported in IRIS catalogs	39
Figure 12. Number of events versus P-S time for the local earthquakes	40
Figure 13. Epicentral distances of the P-S time 15 and 29 seconds. The inner circle is for 15 seconds and the outer is for 29 seconds. The dashed lines delineate the plate boundary	41
Figure 14. Number of events versus Richter scale for the local earthquakes .	42
Figure 15. Estimated hypocenters near the King Sejong Station from Jan., 1995 to Sep., 1996	44

제 1 장 서 론

남극은 지체구조가 안정되어 비교적 지진활동이 적은 곳으로 알려져 왔다. 최근에 이르러 남극에서의 지진관측에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 지진 관측은 두 가지 측면에서 중요성이 부각되고 있다. 하나는 전 지구적 지진 관측망의 완성이다. 사람이 거주하는 대륙에는 많은 지진 관측망이 구축되어 있지만, 지구상의 약 오분의 일을 차지하는 남극권은 지진 관측망이 거의 설치되어 않은 사각지대를 형성하고 있다. 따라서 정확한 지진의 진원을 결정하거나, 지구내부 구조를 규명하는 등의 광역적인 지진연구를 위해서는 남극지역에서의 지진 관측망이 필요하다. 또 다른 중요성은 남극 지역의 지체구조 운동을 이해하기 위함이다. 남극반도 주변지역인 경우, 남극반도와 남미대륙사이에는 여러 지판들의 상대적인 운동에 의해 형성된 스코시아해가 위치하며, 4 개의 지판이 최근까지 이 지역에 존재하면서 활발한 판구조운동을 하고 있다. 지진 연구는 이런 지판들의 상호운동과 지판내의 변형작용을 가장 정확하게 알 수 있게 해주기 때문에, 남극반도 지역과 같은 복잡한 지체구조 운동을 규명하기 위해서는 이 지역에서의 지진관측이 필수적이다.

남극의 설치된 각국의 많은 상설 기지들은 이런 중요성 때문에 지진관측에 중점을 두고 있다. 일본 쇼와 기지 (Syowa Station) 경우 1961년과 67년에 3성분 단주기와 장주기 지진계가 설치되었고, 1989년에는 광역주기(broad-band) 디지털 지진계가 설치 운영되고 있다. 이태리 경우에는 남극반도에 위치한 아르헨티나의 에스페란자(Esperanza) 기지에 3성분 광역주기 지진계를 설치하여 남극반도와 스코시아해의 지진활동을 관측하고 있다.

현재 세종기지가 위치한 남세틀랜드 군도는 남극판과 스코시아(Scotia)판의 경계 부근에 인접해 있으며 남세틀랜드 해구와 브랜스필드 해협사이에 위치한 호상열도로, 인근에 남세틀랜드 해구, 브랜스필드 확장분지, 분지내의 활성 화산섬, 웨클턴 파쇄대와 히어로 파쇄대 등의 대규모 지체구조를 따라 복잡한 판구조운동이 진행되고 있는 지역에 놓여 있다. 이들의 성인과 현재의 운동성, 상호관계 등은 잘

밝혀지지 않고 있다.

남극 세종기지는 1989년부터 3성분 단주기 지진계를 설치하여 상시 관측을 수행해오고 있다. 1992년에 바람으로 인한 잡음문제 때문에 기존의 지진 관측동에서 지진계 센서를 안정한 장소로 옮겨 설치하였다. 95년부터는 본격적인 디지털 자료를 기록할 수 있게 되어 양질의 자료분석이 가능하게 되었다. 하지만 지진자료의 분석을 위해서는 수십년간의 자료축적기간이 필요하며, 세종기지의 짧은 설립기간을 감안할 때 아직은 자료 축적의 단계에 머물러 있으며, 그 동안의 자료를 분석하기 위한 준비를 하고 있다. 인접한 중국과 폴란드 기지에도 지진계가 설치되어 지진연구를 수행하고 있지만, 모두 아날로그방식으로 자료를 기록하고 있어 자료의 질이 떨어진다. 이 두 기지와는 지진 정보의 교환이 가끔 이루어지지만 아직은 정기적인 교류가 이루어지지 않고 있다. 이들 기지 역시 우리 기지와 같은 자료의 축적단계에 있는 것으로 보인다. 따라서 현재 우리가 수행하는 이 지역의 지진연구에 있어서 가장 중요한 작업은 정확한 자료를 얻을 수 있는 관측장비의 설치 및 운영이며 현재까지 얻어진 자료의 체계적인 성실한 정리작업이다.

이 보고서에서는 그 동안 축적된 자료를 분석하고 정리하여 이 지역의 발생하는 지진의 진앙, 메카니즘, 규모 등 지진활동성을 규명하여 인근의 복잡한 지체구조 운동을 판명하는데 기초자료를 제공하며 누구나 세종기지의 자료를 쉽게 이용할 수 있게 하고자 한다.

제 2 장 개 요

1. 지체구조

남극 세종기지는 브랜스필드 해협을 사이로 남극반도에서 약 100 km 떨어진 남셰틀랜드 군도의 킹조지섬에 위치하고 있다 (Fig. 1). 남극 반도의 북부에는 남셰틀랜드 해구 (South Shetland Trench), 셰클턴 파쇄대 (Shackleton Fracture Zone)와 남스코시아 해저산맥 (South Scotia Ridge)이 만나는 삼중점 (triple

junction)이 위치하고 있으며, 남극판 (Antarctic plate)과 스코시아판 (Scotia plate)의 경계지역이다 (Klepeis and Lawver, 1996) (Fig. 2). 따라서 상대적으로 좁은 지역안에 복잡한 판구조가 형성되어 있어 매우 중요한 연구대상지역이다.

남극반도는 적어도 초기 중생대부터 남미대륙의 안데스산맥과 연결되어 있었을 것으로 추측되어왔다. 과거 연결되어 있던 두 대륙은 신생대 올리고세인 약 29 Ma 부터 드레이크해협이 확장으로 최종 분리되었으며 (Barker and Burrell, 1977), 분리와 연관된 초기의 구조들이 스코시아해 지역에서 광범위하게 관찰되고있다.

스코시아해는 동쪽의 긴 루프형태의 화산섬들과 삼면의 해저산맥으로 둘러싸여 있다. 스코시아해를 가로질러 동서 방향으로 진행되고 있는 거대한 두 판의 상대적인 수렴운동은 주로 남·북 스코시아 해저산맥의 동서 방향 좌향이동 (left-lateral strike-slip) 단층운동과 웨클턴 파쇄대의 북서-남동 방향 좌향이동 단층운동으로 분할된다 (Pelayo and Wines, 1989).

남스코시아 해저산맥을 따라 1.0 cm/yr의 좌향이동 단층운동이 일어나고 있으며, 동쪽의 샌드위치판은 샌드위치 해구 아래로 남미판이 섭입됨에 따른 약 5.5 cm/yr에 달하는 배호확장운동이 일어나 현재 스코시아판으로부터 빠르게 분리되고 있다.

스코시아해의 서쪽 경계인 웨클턴 파쇄대는 남빙양에 존재하는 가장 두드러진 해저구조로서 남미대륙 남단 대륙붕으로부터 남동방향으로 최대폭 25 km로 총연장 약 800 km에 걸쳐 놓여있다. 웨클턴 파쇄대에는 양측 대륙붕 지역을 제외하고는 수심 4000 m의 주변 해저면에 비해 2000 m 이상 솟아있는 대규모 해저산맥이 발달해 있다. 판구조론적 입장에서 보면 웨클턴 파쇄대는 동쪽의 스코시아판과 서쪽의 남극판의 경계를 이루고 있으며 지진과 분석에 의하면 좌향수평이동을 하고 있는 단층대이다 (Pelayo and Wiens, 1989).

웨클턴 파쇄대의 남서쪽에 위치한 남세틀랜드 해구는 남극반도의 태평양 연안을 따라 존재했던 섭입대가 현재까지 유일하게 남아있는 부분이다. 이는 웨클턴과 히어로 (Hero) 파쇄대 사이의 구간에서는 해구에서 멀어질수록 해양지각의 연령이 젊어지고 확장중심 또한 찾을 수 있으나, 히어로 파쇄대 남서부에서는 해안에서 멀어질수록 지각의 나이가 오히려 증가하는 것을 보아 짐작할 수 있다. 즉 예전의

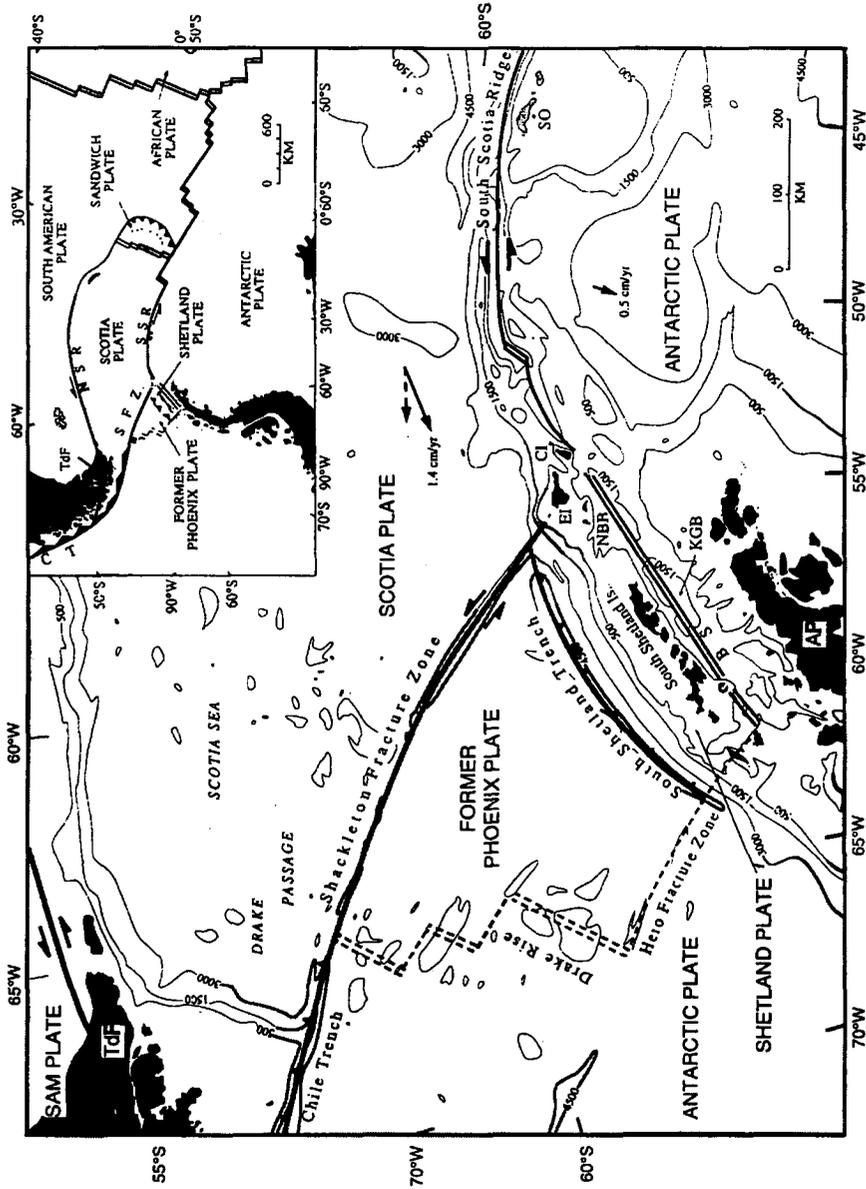


Fig. 2. Tectonic setting of the northern Antarctic Peninsula.

남극판과 태평양판 사이에 존재했던 피닉스판이 신생대 동안 남극반도의 연안을 따라 북동쪽으로 계속해서 진행된 확장중심과 해구의 충돌로 인해 소멸되고, 단지 히어로 파쇄대의 북동부에 섭입대의 일부와 피닉스판의 일부가 남아있는 것으로 해석된다 (Barker, 1982). 피닉스판의 확장은 약 6 Ma 이후 급격하게 느려지고 4 Ma에 이르러 완전히 멈추었다 (Larter and Barker, 1991).

브랜스필드 해협은 남세틀랜드 군도와 남극반도사이에 위치하고 있다. 해협의 확장축을 따라 발생한 최근의 화산활동 (Saunders and Tarney, 1982)과 지진활동 (Forsyth, 1975; Pelayo and Wines, 1989)은 확장활동이 지금도 계속되고 있음을 시사한다. 브랜스필드 해협의 북동과 남서 경계는 남세틀랜드 해구의 경계와 거의 일치하고 있으며, 남세틀랜드 해구와 남세틀랜드 군도 배후에 위치하기 때문에 이 해협에 발달한 분지는 배호분지로 분류되어 왔다. 하지만 섭입활동이 계속되고 있다는 뚜렷한 증거가 없기 때문에, 일부 학자들은 섭입작용과 관련된 배호분지라는 이론과는 다른 이론을 제시하고 있다 (Tokarski, 1991; Barker and Austin, 1994).

2. 기존 연구결과

인근의 복잡한 지체구조로 인하여 남세틀랜드 군도가 위치한 지역은 남극대륙주변에서 지진활동이 일어날 가능성이 높은 지역에 속한다 (Fig. 3). 특히, 브랜스필드 해협내에 위치한 디셉션섬과 펑귄섬은 최근까지도 지진활동이 있었던 것으로 보고된 바 있다 (Baker et al., 1975; Birkenmager, 1982; Pelayo and Wiens, 1989). 따라서 주변지역에서 지진을 통한 연구가 많이 수행되었다. Vila et al. (1992)는 1986년에서 87년까지 하계기간에 디셉션섬에서 지진을 관측하였으며, 이들의 진앙지는 브랜스필드 해협의 확장축으로 정의된 방향과 일치하는 동서 방향의 주 단층에서 집중적으로 발생하였다고 보고하였다. Lawver et al. (1995)은 ISC (International Seismological Centre)의 지진자료를 분석한 결과, 브리지만섬에서 발생한 지진은 화산활동에 의한 지진이러기보다는 확장에 관계되는 것으로 해석하고 있다. 또한, 해저지형에 대한 연구에 의하면 브랜스필드 해협은 디셉션섬에서

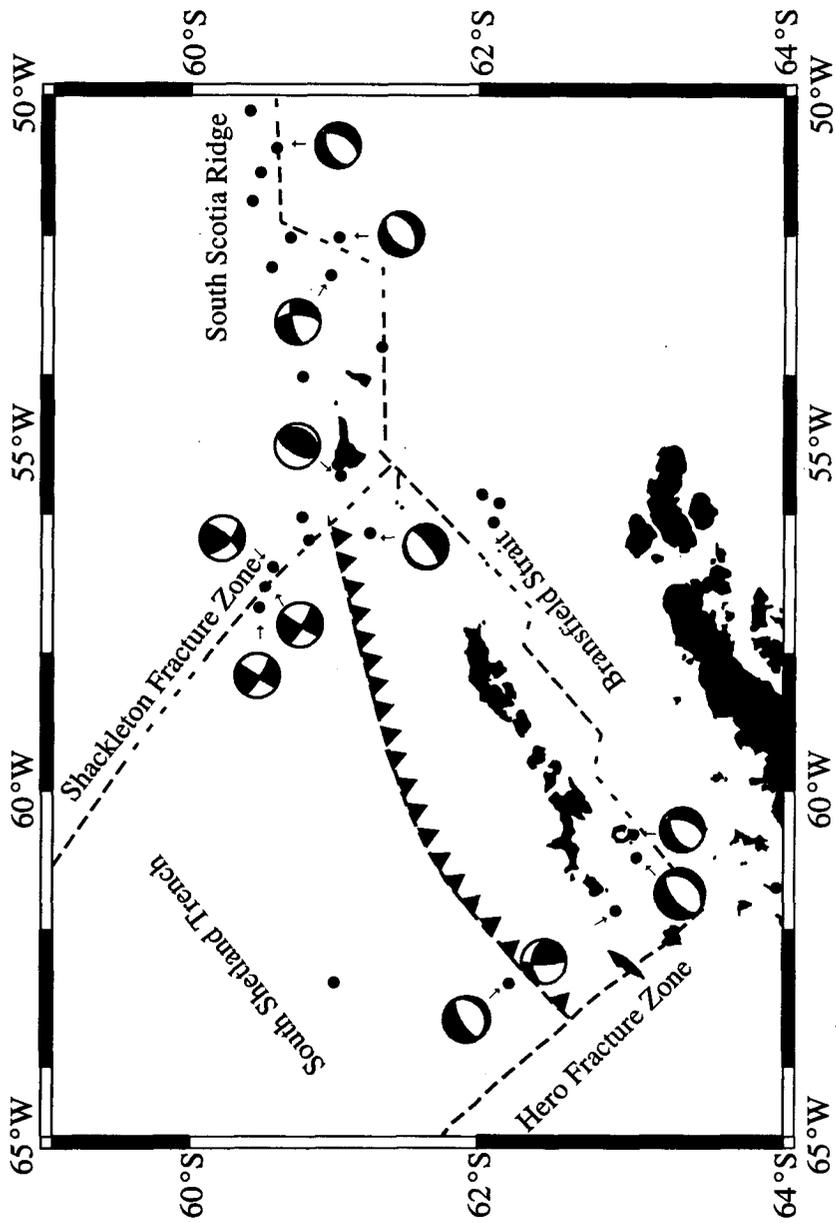


Fig. 3. Seismicity around the northern Antarctic Peninsula.

브리지만 섬까지의 300 km의 거리에 10 여개의 해저화산이 분포하고 있고, 킹조지 섬의 맥스웰만의 입구 쪽에는 큰 해저화산이 위치하고 있는 것으로 밝혀졌다 (Lawver et al. 1996). 따라서 브랜스필드 해협에서의 지진활동은 화산활동보다는 판구조 운동과 밀접한 관계를 맺고 있다고 생각할 수 있으며, 연속적으로 관측된 세종기지에서 지진연구는 브랜스필드 해협의 성인을 연구하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

남세틀랜드 해구, 웨클턴 파쇄대와 남스코시아 해저산맥이 만나는 삼중점 (triple junction) 지역을 제외하고는 해구에서 섭입되는 판의 역단층대에서 발생하는 중간 크기 이상의 지진이 전혀 관측되지 않고 있다. Pelayo and Wiens (1989) 는 브랜스필드 해협에서 관측된 각각 35 km와 55 km의 진원 깊이를 갖는 두 개의 지진을 증거로 이 지역에 느린 섭입활동이 계속되고 있을 가능성을 제시하였지만, 이 두 지진은 해구의 양쪽 맨 가장자리에서 발생한 것으로 섭입대 양쪽 경계에서 벗어난 지역에서 일어난 것일 수 있다. 한편 해구에서의 지진 발생이 거의 없는 것은 판의 섭입속도가 매우 느리거나 판의 연령이 젊기 때문일 수도 있다. 그러나 판의 수렴 속도와 배호분지 형성에 대한 관계는 아직 분명하게 밝혀지지 않고 있다 (Uyeda and Kanamori, 1979).

제 3 장 관측 장비

1. 장비 구성

세종기지에 설치되어 운영되고 있는 지진계는 단주기형 지진계로 1989년 2월 부터 설치 운영되고 있다. 지진계는 KINEMATRICS사의 SS-1 Ranger seismometer로 3성분 (Up-Down, E-W, N-S)으로 구성되어 있다. 지진자료의 기록은 디지털 자료를 기록하는 SSR-1 (Solid State Recorder)와 아날로그로 기록할

수 있는 PS-2 드럼 레코더에 의해 이루어지고 있다 (Fig. 4). 드럼 레코더는 3성분 중 수직성분(Up-Down 성분) 만을 기록하고 있으며, SSR-1은 3성분 모두를 기록하고 있다. 자료취득은 세종기지에 파견된 월동대원에 의해 격일 단위로 이루어지고 있다. 지진계 센서의 고유주파수는 1Hz이고, 임계감쇄지수는 0.7이다. 3성분의 지진계센서 중, 드럼레코더에는 수직성분만 연결되어 있고, 디지털레코더는 3성분 모두를 기록할 수 있게 되어 있다. 각종 지진계 파라미터는 Table 1에 나타내었다.

디지털 지진자료는 KINEMETRIC사의 .SSR 파일로 저장되고, 각종 지진정보를 포함하는 Header file인 .HDR 파일이 작성된다. HDR 파일에 수록된 내용은 APPENDIX I 에 첨부하였다.

2. 장비 특성

각각의 장비들은 신호 대 잡음비를 높이고 양질의 자료의 획득할 수 있게 설계되어 있다. 지진자료를 획득하고 이를 해석하기 위해서는 계기반응 (instrument response)와 증폭비를 알아야 한다. 계기반응은 지면의 실제진폭을 증폭시켜 저장하고 기록하는데 사용되는 각각의 필터나 장비가 주파수에 따라 보이는 반응특성을 말하는데, 신호에 대한 민감도를 나타낸다. Fig. 5(a)는 일반적으로 이용되는 5 Hz Low Pass Filter와 1 Hz의 고유 주파수를 가지는 SS-1 지진계 센서를 이용하였을 경우의 주기 반응 곡선이다.

지진계의 증폭은 크게 두 가지 요소에 의해 결정되는데, 주기 반응 곡선의 모양과 1초에 해당하는 증폭치에 의해서 결정된다. 지진계 센서의 고유 주기에 대한 증폭치는 다음과 같이 주어진다.

$$M = G_0 \left[\frac{R_X}{R_X + R_C} \right] (2\pi f_n) A_a \cdot S_r$$

로 나타낸다. 여기서 각각의 상수는 다음과 같다.

M = magnification that is displacement of the recorder pen

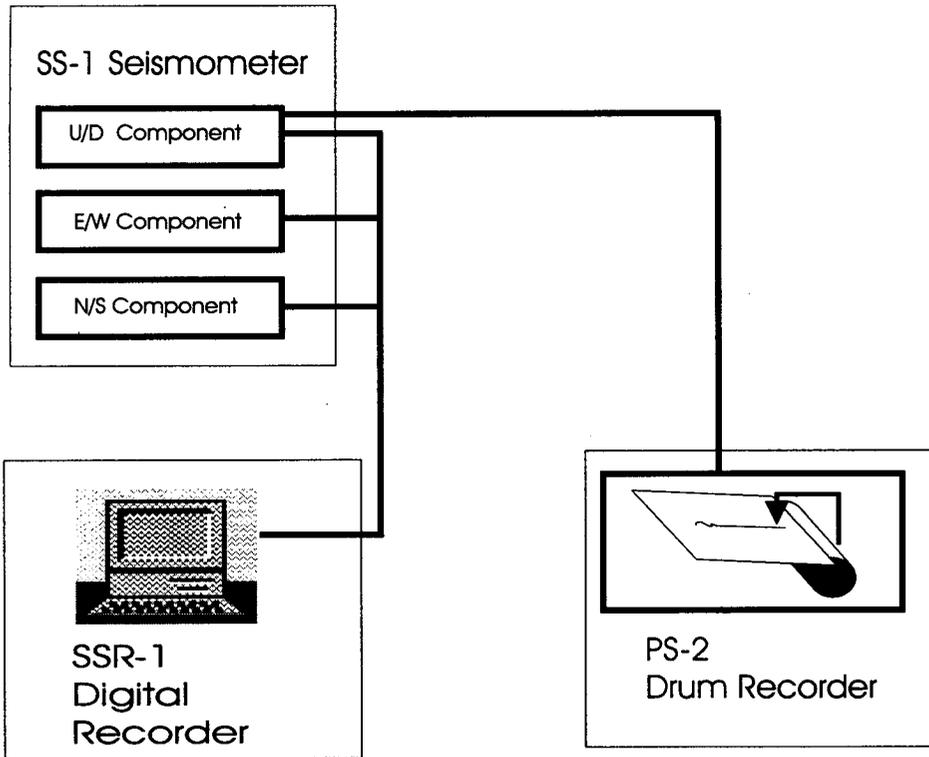


Fig. 4. Seismic observation system of the King Sejong Station.

SS-1 Ranger Seismometer	
Natural frequency f_n	1 Hz
Inertial Mass	1.45 kg
Coil Resistance R_c	5000 ohms
Damping Resistance R_x	5500 ohms
Generator constant G_0	345 volts/meter/sec
Calibration Coil Motor Constant	0.4 newtons/ampere
PS-2 Portable drum recorder	
recorder duration	2 days
Drum rotation	60 mm/min
Gain	36 dB(Max. 72dB(4000))
Sensitivity with 4000(72dB) Gain	1mm/mV $\pm 3\%$
Filter	a) Low Pass : 5 Hz, 12dB/octave b) High Pass : DC, 12dB/octave c) Wood Anderson (optional) : 0.2 Hz, 6dB/octave
Sensitivity of the PS-2 pen motor S_r	0.25 mm/mV

Table 1. Instrument's constant value of PS-2 Drum recorder and SS-1 Ranger Seismometer.

divided by displacement of the ground

G_0 = generator constant of the SS-1

R_x = damping resistance of the SS-1

R_c = coil resistance of the SS-1

f_n = natural frequency of SS-1

A_a = amplification of the PS-2 amplifier

S_r = sensitivity of the PS-2 pen motor

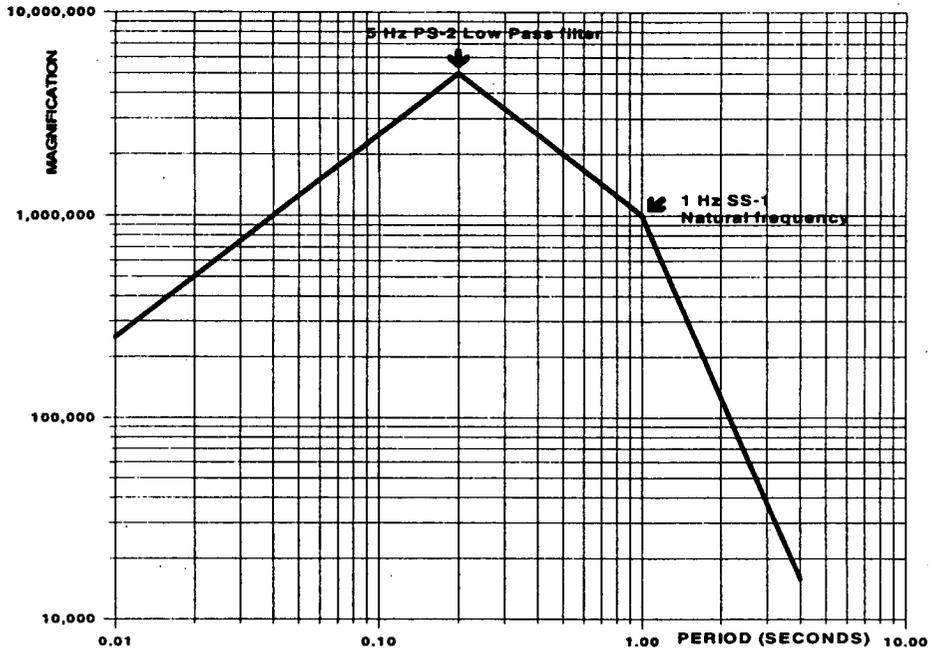
Table 1의 상수를 이용하여 1초(1Hz)에 대한 최대 증폭치(72dB, 4000)를 계산하면 다음과 같다.

$$M = \left(345 \frac{\text{volts}}{\text{m/sec}} \right) \frac{5000\Omega}{5000\Omega + 5500\Omega} 2\pi (1\text{Hz}) (4000) \left(0.25 \frac{\text{mm}}{\text{mV}} \right)$$

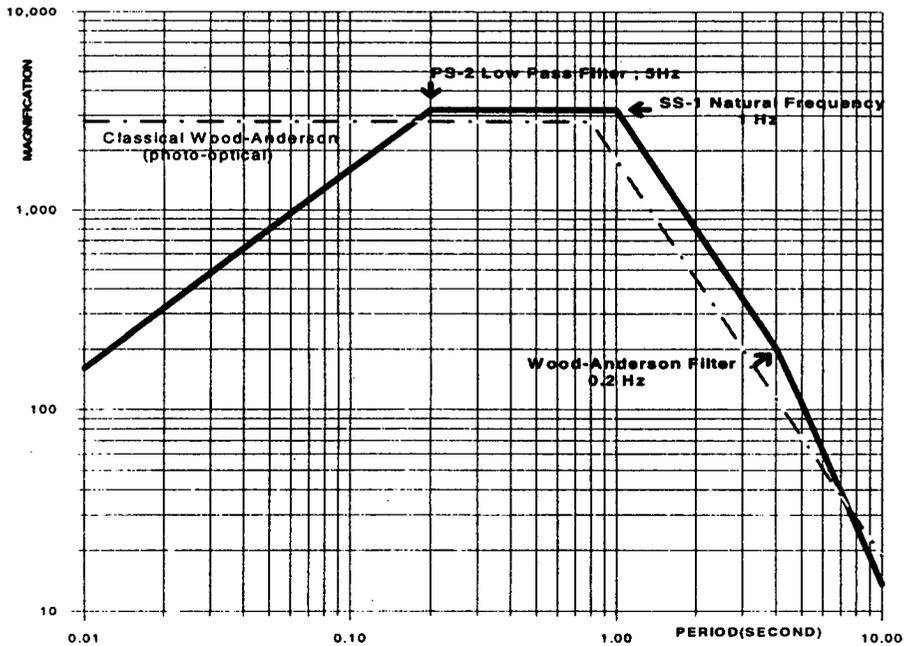
$$M = 1003564.3 \approx 1,000,000$$

그러나, 지진계의 감쇠(damping) 효과를 고려하면 위의 값에 0.707(-3dB)를 곱해야 실제적인 증폭값이 나온다. 다른 이득값에 대한 증폭값은 다음과 같다.

GAIN		MAGNIFICATION (at 1 Hz)
dB	A_a	
0	1	250
12	4	1,000
18	8	2,000
24	16	4,000
30	32	8,000
36	64	16,000
42	125	32,000
48	250	63,000
54	500	125,000
60	1,000	250,000
66	2,000	500,000
72	4,000	1,000,000



(a)



(b)

Fig. 5. Period response curves. (a) is the basic mode, and (b) is the asymptotic magnification for the Wood-Anderson mode.

또한 드럼레코더에서 기록펜의 변위(D_r)는

$$D_r = M \frac{(G_{cc}) i}{(2\pi f_n)^2 m}$$

식으로 표현되는데, 여기서

G_{cc} = calibration coil constant of SS-1 = 0.4 newtons/amp

m = mass of SS-1 = 1.45 kg

i = current through calibration coil

을 나타낸다. 만약에 최대치와 최소치의 전류차가 0.05mA이고, 증폭치가 63,000 x 0.707이라면, 즉 이득값을 48dB로 정하였을 경우, 펜의 최대 변위(최대값에서 최소값까지)는 16mm가 된다. 기지에서 이용되는 값은 이득값 36dB에 대해 44mm로 계산된다.

PS-2 드럼 기록계는 우드 앤더슨(Wood-Anderson) 모드를 옵션으로 사용할 수 있는데, 이 경우에 근사적인 증폭곡선은 Fig. 5(b)와 같다. SS-1의 고유 주파수와 PS-2 저주파 통과 필터(통상적으로 5 Hz)사이의 주파수에 대한 증폭(M)량은 다음과 같다.

$$M = G_0 \left[\frac{R_x}{R_x + R_c} \right] (2\pi f_{WA}) A_a \cdot S_r$$

여기서 f_{WA} 은 우드 앤더슨 필터의 corner frequency인 0.2Hz을 나타내고, 나머지 상수들은 Table 1과 같다. 위 식을 이용하여 이득치가 36dB일 경우에 증폭치를 계산하면, $M \approx 3200$ 의 값을 가진다. 한편 고전적인 지진계는 2800의 증폭치를 나타낸다. 기지에서 운영되는 PS-2 드럼 레코더는 우드 앤더슨 모드를 사용하고 있으며, 3200의 증폭치를 가진다. 따라서 리히터 국지규모로 환산하기 위해서는 PS-2에서 측정된 진폭을 두 지진계 사이의 증폭비를 곱하여 환산하여야 한다.

3. 장소 및 설치

지진계는 남위 $62^{\circ} 13' 31''$, 서경 $58^{\circ} 47' 7''$ 에 위치하고 있고, 고도는 53 m 이다. 자료획득초기 (1989-1991)에 지진계의 위치는 해안가에 위치한 건물내부에 반석을 만들어 설치하였으나 바람에 의한 잡음이 매우 심해, 이후에 기지에서 100 여m 떨어진 산등성이에 1m정도 깊이의 지하에 옮겨 설치하였다. 이 깊이는 기지 주변에서 실시된 전기탐사 및 반사법 탐사에 의해 조사된 동토층의 깊이에 해당한다 (김형수 외, 1995).

세종기지에서 지진계에 기록되는 잡음은 인위적인 신호 (발전기의 진동, 통신 등), 파도, 바람 등이 있을 수 있다. 통신에 의한 잡음은 단발적으로 나타나며 파형이 날카롭게 기록되는데 이는 센서와 기록장치 사이의 전선이 지표에 노출되어 나타나는 현상으로 추정된다. 기후의 영향으로 신호에 가장 큰 영향을 미치는 잡음은 바람에 의한 것이다. 기지건설이후로 관측된 연평균 바람의 속도는 7-8 m/sec에 이르고 최고풍속은 48 m/sec에 이른 적도 있다. 즉, 센서를 보호하기 위한 구조물이 풍화작용으로 지표에 노출되고, 이로 인하여 구조물의 흔들림이 기록되어 신호를 식별하기 어려운 경우가 발생한다. 따라서 실제 지진자료가 바람에 의한 잡음에 의해 구별되지 않을 수도 있으며, 원거리 지진과 진폭이 작은 미소지진 등이 크게 영향을 받는다. 이러한 이유로 바람에 의한 잡음이 심해 지진을 식별할 수 없었던 1989년의 자료는 이번 연구에서 제외하였다.

제 4 장 자료 처리

1. 방 법

자료해석에는 1990년부터 1996년까지 기록된 드럼레코더의 자료와 1995년부터 1996년까지의 디지털 자료가 이용되었다. 한 장의 지진기록지 (Seismogram)는 48

시간 동안 기록하게 되어 있으며, 7년동안 총 1300여장의 기록지를 획득하였다.

지진기록지에서 지진을 식별하기 위한 기준은 다음과 같다.

- a. 배경잡음과 구별되는 진폭을 가지고 기록시간이 10초 이상인 신호
- b. P파와 S파의 식별이 가능한 신호
- c. 잡음과 구별되는 장주기 파형을 가진 신호

남극에서 관측되는 지진은 특수한 기후환경으로 인하여 지질학적인 원인에 의한 지진 외에도 빙산이나 빙봉, 빙하들의 운동에 의해 발생하는 지진이 많이 기록된다. Akamatsu et al.(1989)은 빙하의 붕괴(Icequake)에 의한 신호를 발생지역에 따라 구분하여, 육지에서는 초기 파형이 불분명하고 바다에서는 날카로운 파형으로 나타나는 특성을 파악하였다. 또한, Privitera et al.(1992)는 빙하의 붕괴로 발생한 신호는 S파가 나타나지 않고 급격한 진폭의 감쇠를 보이며, 짧은 기록시간을 보이는 것으로 보고하였다. 따라서 지진기록 중에서 짧은 기록시간을 가지며 날카로운 파형을 보여주는 신호를 제거하기 위하여 (a)와 같은 기준을 설정하였다.

(c)의 경우는 잡음과는 구별되는 진폭을 가지며 주기가 긴 원거리 지진을 구별하기 위한 기준이다. 빙하의 이동에 의한 지진도 10분 이상 신호가 유지되지만 연속적으로 진동하는 렌즈 모양의 파형으로 나타내므로 원거리 지진과는 구별된다. 이들은 IRIS (The Incorporated Research Institutions for Seismology) 자료센터에 보고된 지진자료를 이용하여 분석하였다. 즉, 진원지에서 관측지점까지의 도달시간을 계산하고 세종기지에서 기록된 시간과 비교하여 그 오차가 수 분 안에 들면 IRIS 자료와 일치하는 것으로 추정하고 그의 진원지와 진앙깊이, 규모 등을 참고하고 진원지까지의 거리를 계산하였다.

이렇게 식별된 지진자료에 대한 목록을 작성하여 APPENDIX II에 첨부하였고, 이 자료중 IRIS에서 발표한 카탈로그에 수록된 원거리 지진들은 정확한 지진 파라미터와 함께 목록을 작성하여 분리하여 첨부하였다. 아날로그 자료중 비교적 뚜렷한 지진들을 모아 APPENDIX III에 첨부하고, 디지털 지진자료는 3성분 모두를 도시하여 APPENDIX IV에 첨부하였다.

2. 지진 변수 결정

가) 역방위각 추정법 (Back-azimuth estimation)

오랫동안 많은 지진학자들에 의해 한 개의 관측점에서 얻은 3성분 지진자료를 이용하여 진앙을 결정하는 방법들이 제시되었다 (e.g. Magotra et. al., 1987; Rudd et. al., 1988; Roberts et. al., 1989). 독립된 한 개의 관측점인 세종기지에서 획득한 지진자료를 분석하기 위해서는 이런 결정방법의 개발이 매우 절실하다.

만일 역방위각을 알 수 있으면 남북과 동서의 지진성분을 지진계로부터 지진 파선의 방향을 투영시켜 어느 방향에서 지진이 발생했는지를 알 수 있다. 역방위각을 구하기 위해 다음과 같은 수식을 상정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} r \\ t \end{bmatrix} = U^T X = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 \\ u_3 & u_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n \\ e \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 U^T 는 역방위각 방향의 normalized vector이다. r 과 t 는 각각 radial과 tangential 성분이다. 역방위각 방향을 따라 진폭 제곱의 총합은 어떤 방향보다 크게 된다.

$$\sum_r \sigma_r^2(t) \geq \sum_\theta \sigma_\theta^2(t) \quad (2)$$

여기서 σ_r^2 과 σ_θ^2 는 radial 방향과 임의의 방향을 따른 P phase time window안에서의 제곱을 나타낸다. 따라서 0° 부터 360° 까지 1° 간격으로 계산하여 가장 큰 값을 보이는 역방위각을 추정할 수 있다. 이런 역방위각 추정방법에는 180° 모호성이 내재되어 있다.

또 다른 역방위각을 추정하는 방법으로 Seismic event detection and source location (SEDSL) algorithm (Magotra et. al., 1987)을 사용할 수 있다. 이 방법은 작은 입사각을 갖는 지역적인 지진 ($\Delta \leq 20^\circ$)에 매우 효과적이다. Fig. 6은

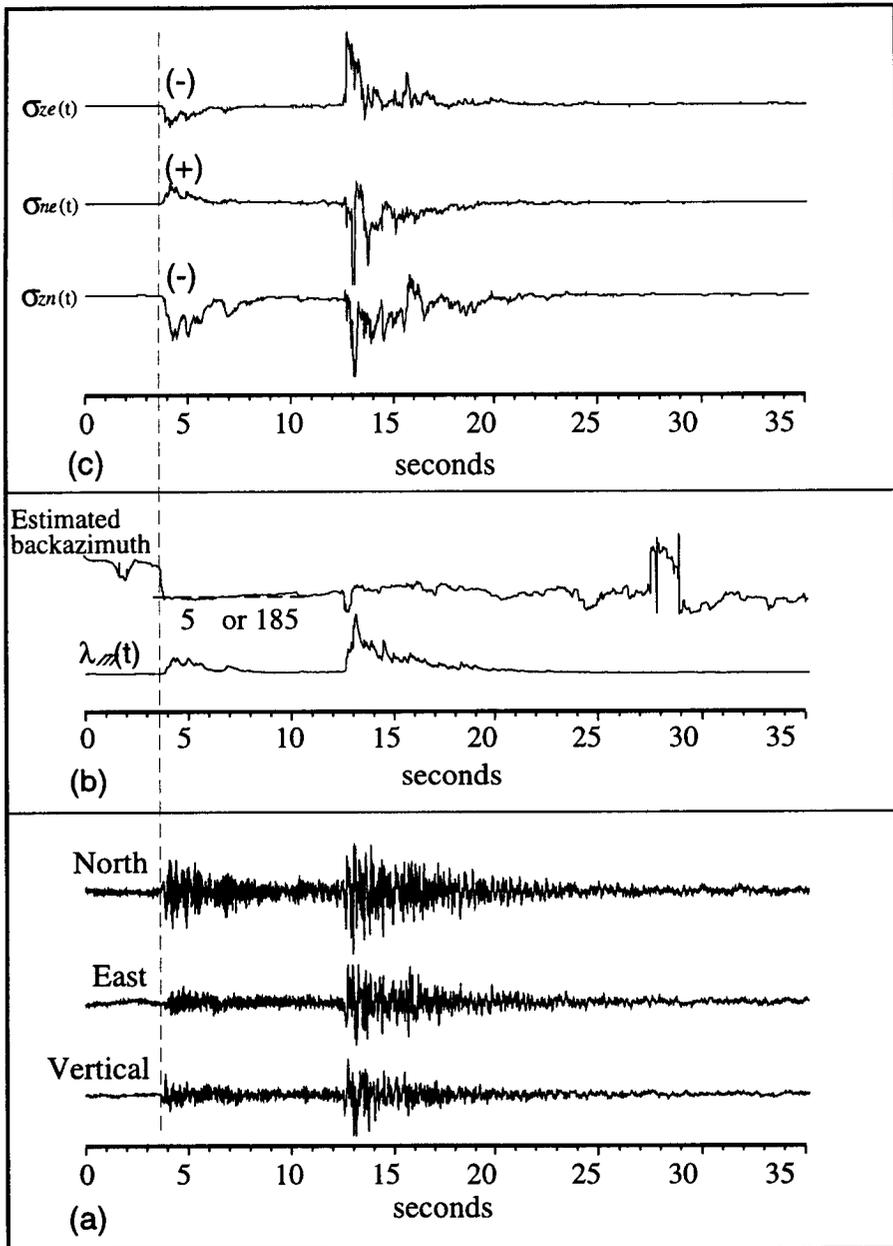


Fig. 6. An example of data analysis using SEDSL algorithm proposed by Magotra et. al., 1987.

SEDSL 알고리즘에 의해 분석된 지진기록의 한 예이다.

2. 거리, 규모 및 진앙 결정

P-S 시간은 진앙거리를 계산하기 위해 각 지진마다 측정되었다 (Fig. 7). 이때 가장 중요한 사항은 도착한 파의 식별이다. 발생한 깊이나 진앙거리, 지각의 두께 및 속도에 의해 각 파들의 도착시간이 변하기 때문에 매우 어려운 사항이기도하다. 역방위각 측정과 진앙거리 산출을 통해 진앙의 위치를 결정하였다.

지진의 규모는 아날로그 자료인 다음과 같은 식을 이용하여 우드-앤더슨 규모 (Wood-Anderson type amplitude)로 결정되었다 (김규중 외, 1996).

$$M_R = \log_{10} A(mm) + 3 \log_{10} [8 \times \Delta t(s)] - 2.92$$

여기서 A는 진폭을 나타내고 $\Delta t(s)$ 는 PS시를 나타낸다. 이 식을 이용하여 95년도 자료중 11개의 지진에 대해 계산된 결과를 Table 2에 나타내었다.

디지털 자료인 경우에는 다음과 같은 단계를 걸쳐 규모를 결정하였다. SS-1 지진계 센서의 출력값(Voltage)은 $E_0 = G_L V_m$ 로 표현되는데, G_L 은 loaded generator constant로 $G_0 \frac{R_X}{R_X + R_X}$ 에 해당하고 V_m 은 지진계 내부에 장치된 mass의 움직이는 속도에 해당한다. 또한 지진계의 고유주파수에 대해서 $V_m = \omega_n \delta_g$ 와 같이 표현된다(여기서 δ_g 는 지면의 실제변위, ω_n 은 지진계 센서의 각주파수를 나타낸다.). 이를 센서의 출력값에 대입하면 $E_0 = G_L \omega_n \delta_g$ 이 되고, 드럼 레코더 펜의 변위(D_r)은 $D_r = A_a S_r E_0$ 로 나타낼 수 있다. 한편, 앞에서 증폭치(M)의 계산식은 $M = G_L \omega_n A_a S_r$ 로 표현되는데, 이는 곧 $M = D_r / \delta_g$ 를 나타내므로 우드-앤더슨의 증폭치 2800을 이용하여, 리히터 규모에서 이용되는 변위를 구하였다. 즉, 펜의 변위 D_r 는 리히터 규모의 진폭 $A(mm)$ 에 해당한다. 위와 같이 환산된 자료의 정확성을 검증하기 위하여 PS-2에 나타난 진폭과 증폭값 3200을 이용하여 환산한 결과를 비교한 결과 비교적 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

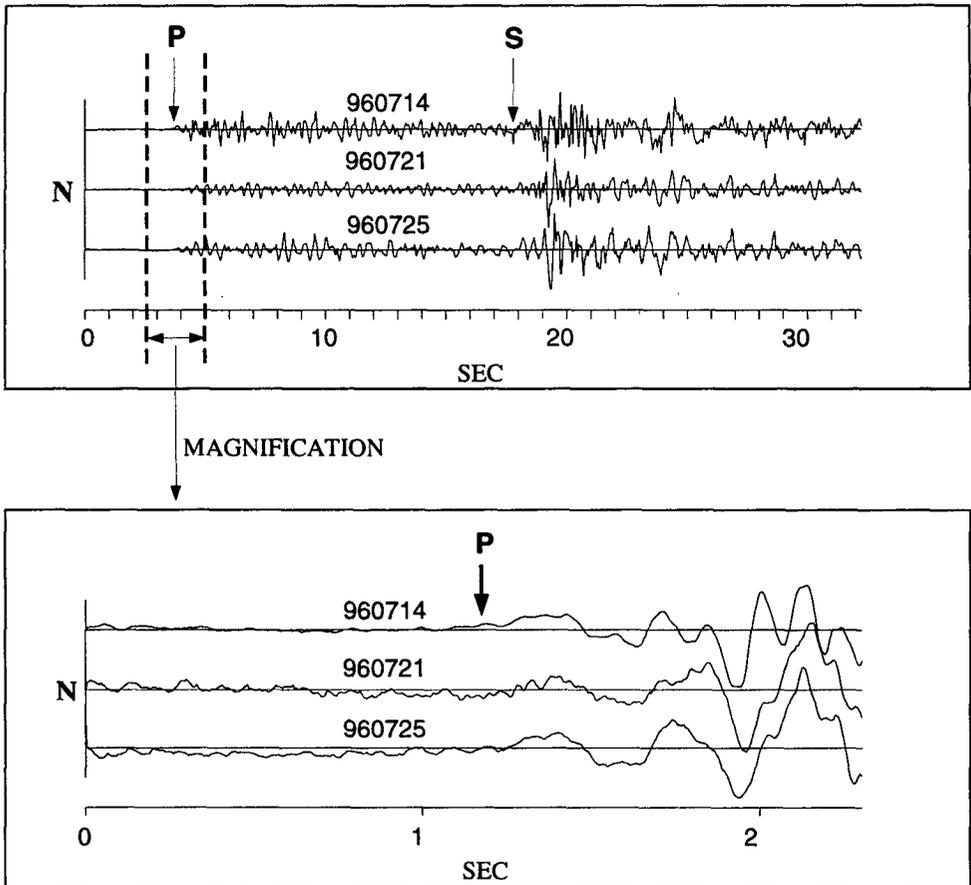


Fig. 7. An example of the identification of P and S phases.

Day	UTC(h,m,s)	A(mm)	A_{vmax} (μ cm/s)	Δt (sec)	R(km)	M_L	EVENT NO. (in APPENDIXIV)
MAR, 15	22, 32, 49	6.3	14.2	7.1	63	3.1	950315J
MAR, 21	06, 38, 11	2.5	5.7	17.7	157	3.9	950321D
APR, 11	19, 00, 41	4.2	9.5	12.9	115	3.8	950411D
JUN, 13	22, 47, 06	3.2	7.2	16.5	146	3.9	950613B
JUN, 28	19, 17, 38	3.7	8.4	18.0	160	4.1	950628B
JUL, 4	05, 26, 01	32.2	72.4	9.8	87	4.3	950704A
JUL, 18	01, 46, 24	1.3	3.0	9.0	80	2.8	950718A
SEP, 3	14, 49, 22	21.5	48.3	16.9	150	4.8	950903C
SEP, 20	09, 37, 08	39.4	88.7	14.5	129	4.9	950920A
OCT, 3	13, 49, 00	10.7	24.1	22.8	202	4.9	951003B
OCT, 6	05, 39, 10	5.0	11.3	11.0	95	3.6	951006B

Table 2. List of local earthquakes around King Sejong Station and the parameters for the magnitude calculation.

제 5 장 지진활동성

지진기록지를 판독한 결과 총 604개의 지진자료를 식별할 수 있었다. 이들 중 대표적인 지진을 Fig. 8에 도시하였다. (a), (b)는 장주기파형으로 나타나는 대표적인 이벤트로 Sandwich arc 부근에서 일어난 지진기록이다. 규모가 6.0이상의 지진으로 다른 지역에서 발생한 장주기 파형의 진폭보다 크게 나타난다. 같은 지역에서 발생한 지진이 진폭에서 차이를 보이는 것은 진원 깊이의 차이에 따른 것으로 추정된다. (c), (d)는 P파와 S파를 식별할 수 있는 이벤트로 기지에서 자주 관측되는 파형이다. 각각의 PS시는 15초와 8초이다. 이들의 파형은 매우 조밀하여 P파와 S파 이외에는 정확한 구별이 어렵다. 따라서 진원의 깊이를 정확히 결정할 수 없었다.

판독된 자료들은 진원거리 20° 를 기준으로 원거리 지진과 국지지진으로 구별하였고, 규모가 2.0 이하인 신호를 미소지진으로 구분하였으나 리히터 스케일로 계산하였을 때 판독된 이벤트 중 미소지진은 극소수에 달했다. 따라서 미소지진은 기록시간이 10초 미만인 경우에 속하거나 잡음의 진폭보다 작아서 판별되지 않았을 가능성이 높다.

이러한 분류를 통하여 연도별 이벤트 수를 비교하면 92년 이후에 이벤트의 수가 증가하다가 95년에 일시 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 보이며, 94년에는 총 179회로 가장 많은 지진이 발생한 것으로 나타났다. 기지에서 관측된 원거리 지진은 93년과 94년에 많았으며, 국지지진은 94년에 153회, 96년에 124회로 많이 발생하였다 (Fig. 9). 92년 이후에 이벤트수가 증가하는 양상을 보이는 것은 센서의 위치를 바람의 영향이 적은 지역으로 이동하여 신호 대 잡음비가 증가하여 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

이벤트를 월별로 표시한 결과, 94년 1월에 52회, 2월에 66회, 96년 7월에 81회로 특정한 달에 지진이 집중적으로 발생하였음을 알 수 있다 (Fig. 10). 94년과 96

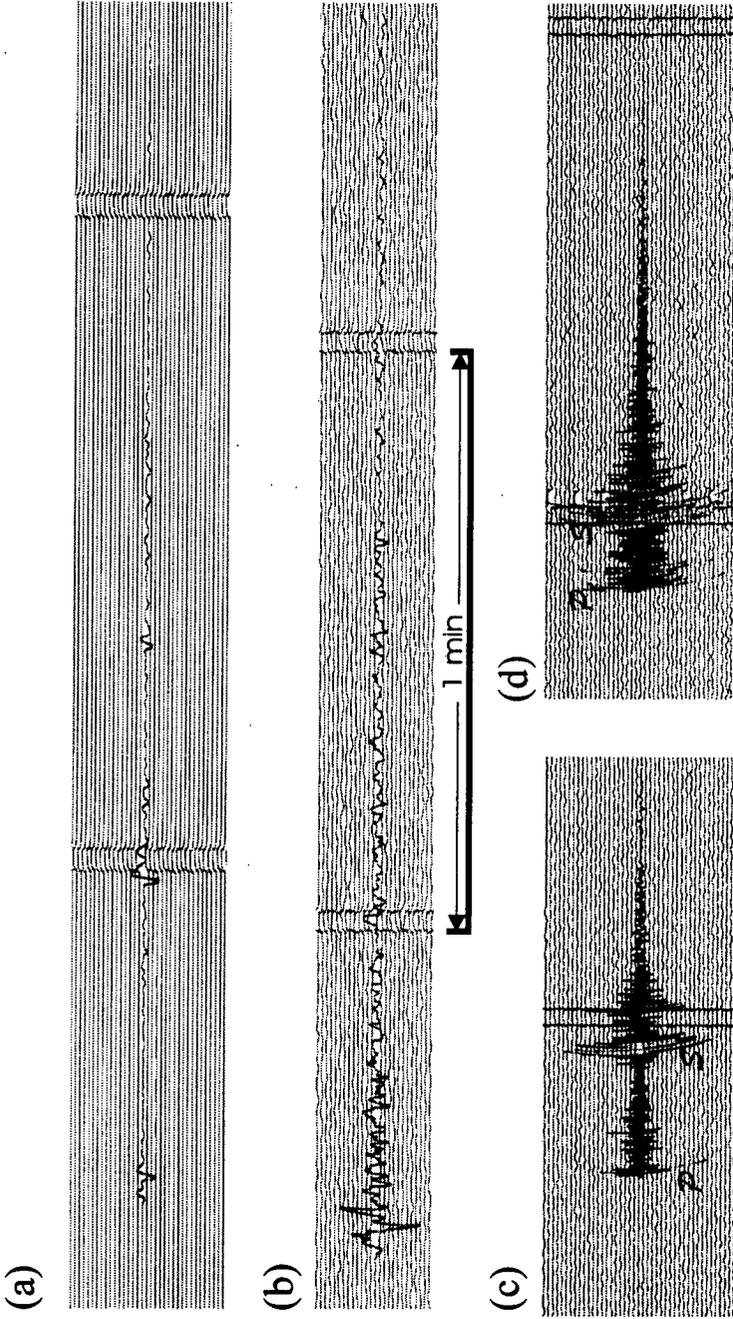


Fig. 8. Examples of short-period seismograms recorded at King Sejong Station, Antarctica. Source parameters of four events are following:

Event	Date	Magnitude	Epical coordinates	Focal depth	Epical Distance
b(IRIS)	Mar 20, 1993	6.0	56.08 S, 27.80 W	116 km	1880 km
a(IRIS)	Jul 13, 1992	6.1	60.73 S, 21.97 W	12 km	1945 km
D	Sep 20, 1993	4.99(Richter)	?	?	64 km
C	Sep 20, 1993	4.56(Richter)	?	?	116 km

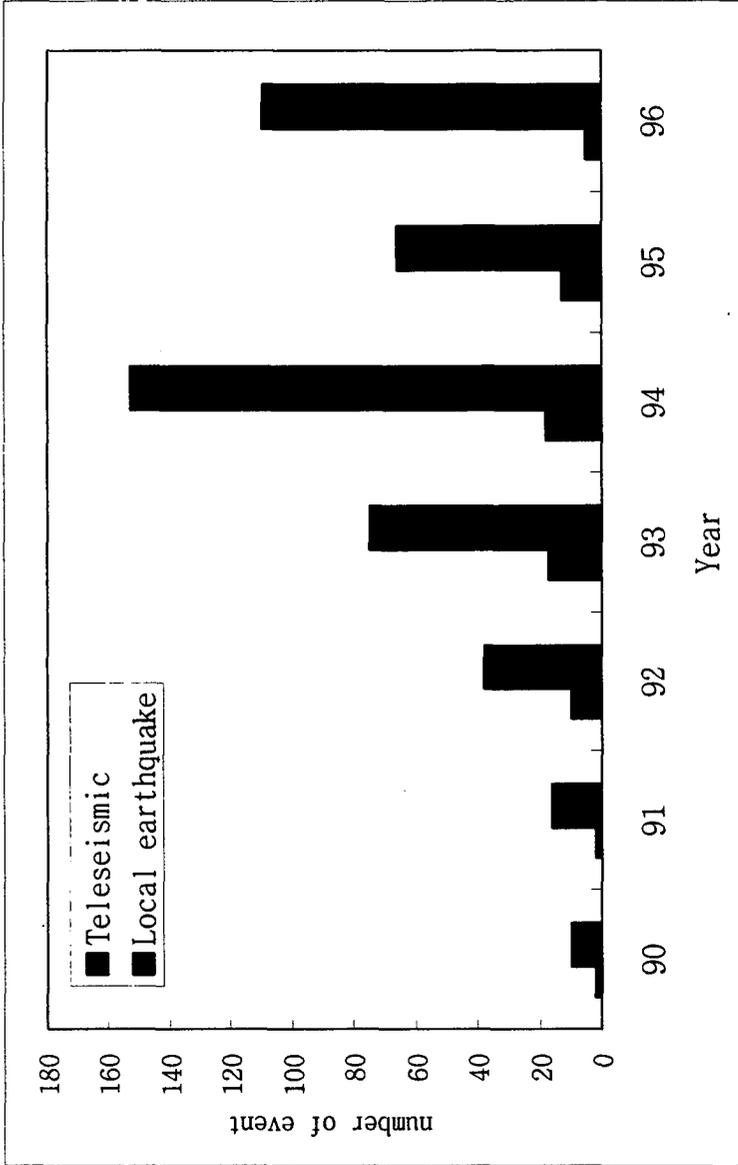


Fig. 9. Annual number of earthquakes observed at the King Sejong Station from 1990 to 1996.

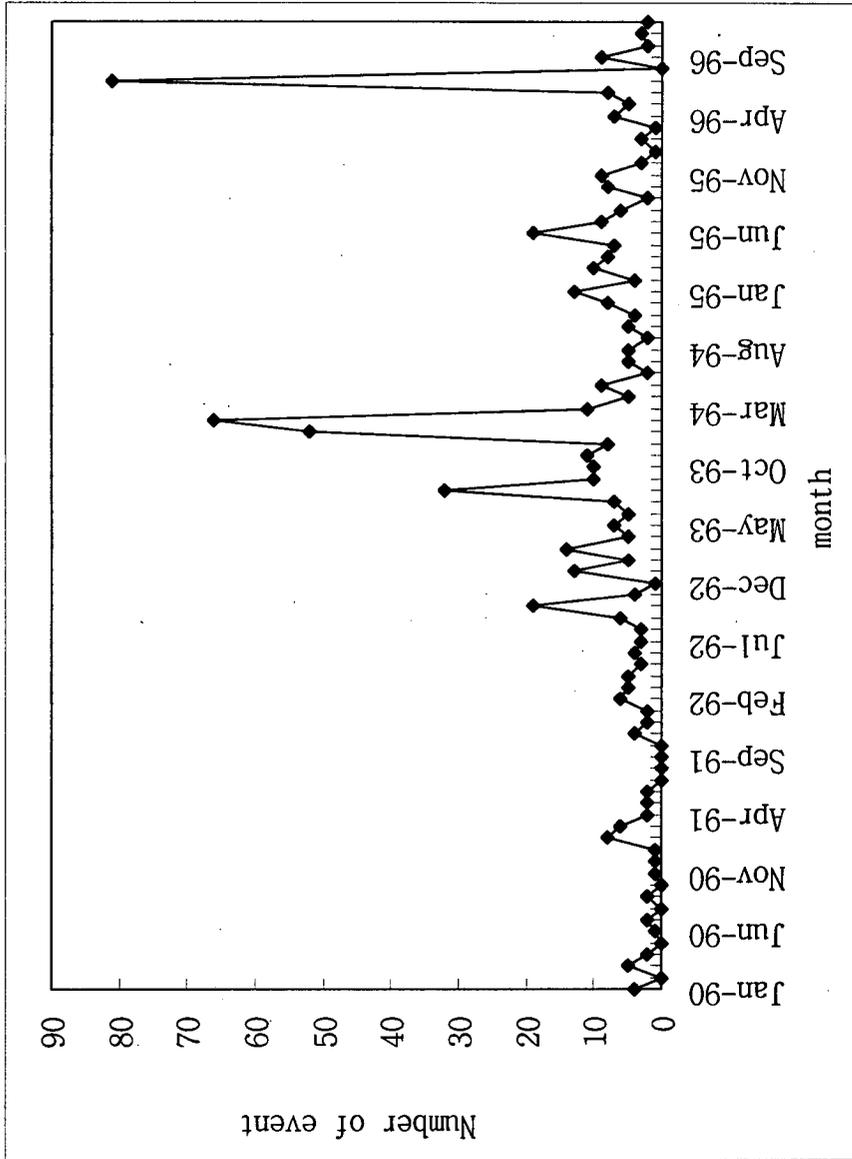


Fig. 10. Monthly number of earthquakes observed at the King Sejong Station from 1990 to 1996.

년에 지진 발생수가 많았던 것이 이들 특정한 달이 포함된 해이기 때문이다. 이와 같이 세종기지주변에서 성인이나 진원을 알 수 없는 군발지진이 자주 발생하고 있음은 매우 주목할 만하다.

기지에서 기록된 지진중 IRIS 지진자료목록에 등재되어 진원지를 알 수 있는 지진자료를 Fig. 11에 나타내었다. 세종기지에서 기록된 지진중 IRIS 목록에 나타난 지진은 총 100개에 이르며, 나즈카와 남아메리카판의 경계, 남 샌드위치 아크, 통가지역에서 발생한 지진들이 대부분을 차지하였다. 이들은 대부분 규모 5.0이상의 지진들로 주로 남반구에서 발생하였으며, 일본과 중앙아시아에서 발생한 지진도 5개 관측되었다. 북반구에서 발생한 지진은 규모가 6.0 이상의 강진들이다.

국지지진들 중에 PS시를 구별할 수 있는 이벤트를 대상으로 PS시에 따른 이벤트 수를 비교하였다 (Fig. 12). 3-4초의 PS시를 보여주는 미소지진들도 분포하나 그 수는 매우 적다. 15초에 137회, 16초에 50회, 그리고 29초에 40회로 많이 나타나고 있다. 이들은 세종기지 주변에서 지진이 많이 발생하는 지역을 대체적으로 짐작하게 한다. 리히터 스케일에서 이용되는 거리환산 방법을 이용하면, 15초는 120km, 29초는 230km 정도의 거리를 나타내므로 이들 PS시간에 해당하는 지진발생구역을 그림으로 표시하면 Fig. 13과 같다. 여기서 나타난 점선은 판의 경계를 나타내는데, 계산된 거리를 표시한 원과 판의 경계나 대규모 지체 구조가 만나는 지점에서 지진이 일어날 확률이 높은 것을 감안할 때, 15초 이벤트의 진앙은 디셉션섬이나 동부 브랜스필드 해협일 가능성이 높고, 29초는 세클톤 파쇄대 또는 남스코시아 해령일 가능성이 높다.

국지지진중 규모를 계산하여 각 규모별로 이벤트 수를 도시하였다 (Fig. 14). 리히터의 스케일을 이용하여 계산된 값들은 큰 규모의 경우에는 차이가 적으나, 작은 규모의 경우에는 상당한 차이를 보이는 경향이 있다. 규모 3.3으로 나타난 이벤트가 31개로 가장 많고, 총 262개의 이벤트 중 65%가 규모 3-4범위에 속하는 것으로 나타나있다. 규모의 평균값은 3.47이다. 따라서, 전세계의 지진망에 걸리지 않는 지진이 이 지역에서 상당수 발생함을 알 수 있다.

95년과 96년에 기록된 디지털 자료중 세종기지 인근에서 발생한 지진을 분석한 결과 웨틀턴 파쇄대, 남세틀랜드 플랫폼, 디셉션섬과 브랜스필드 동부분지에서

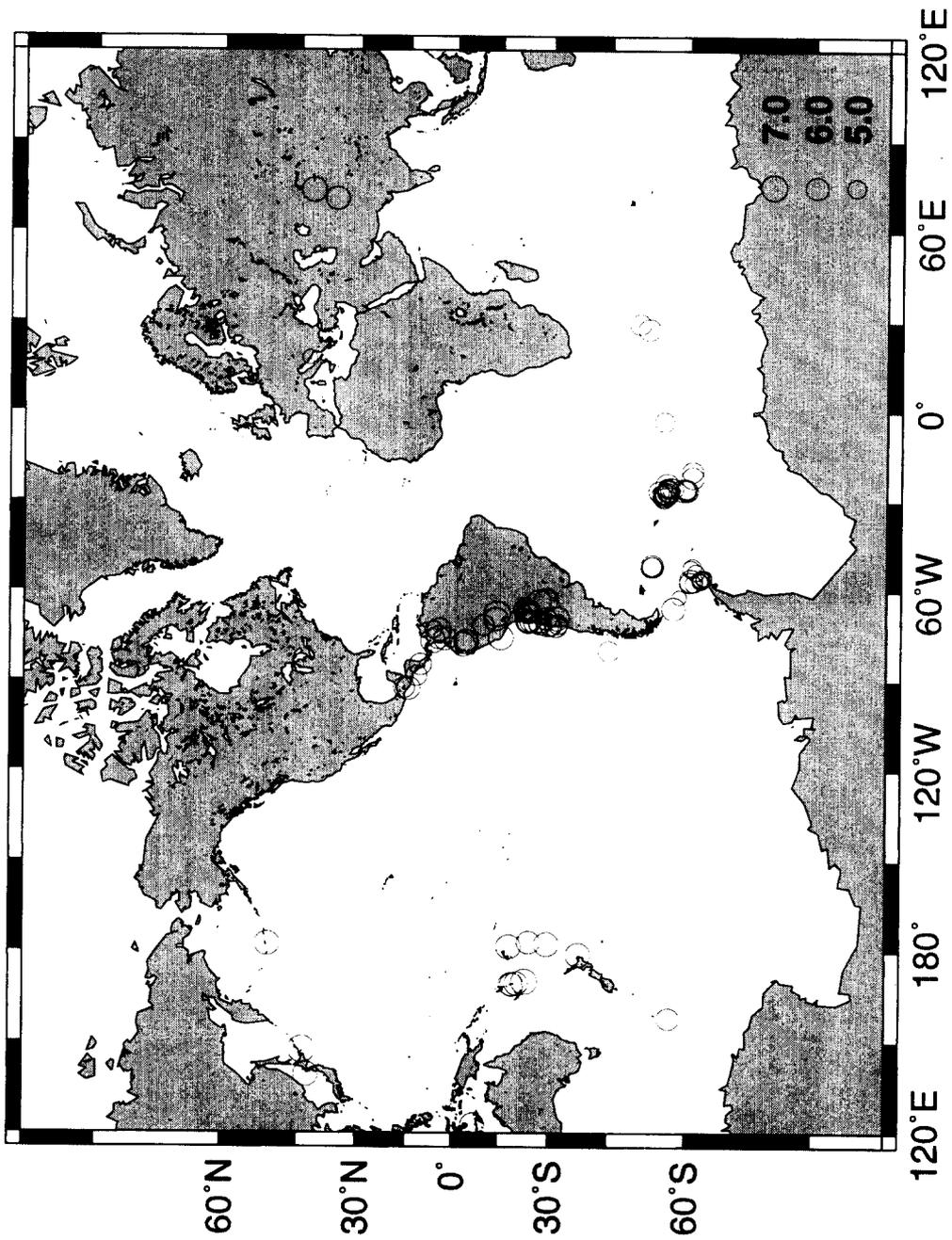


Fig. 11. Teleseismic events recorded at the King Sejong Station. Their location were reported in IRIS catalogs

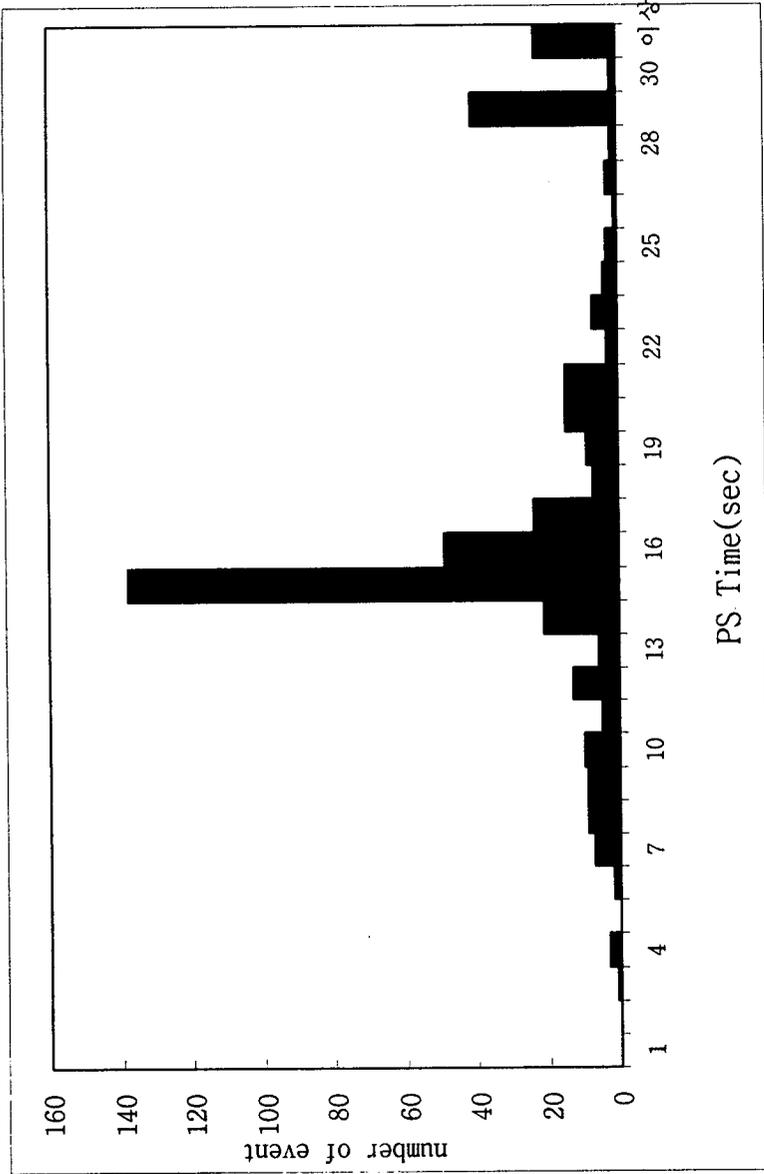


Fig. 12. Number of events versus P-S time for the local earthquakes.

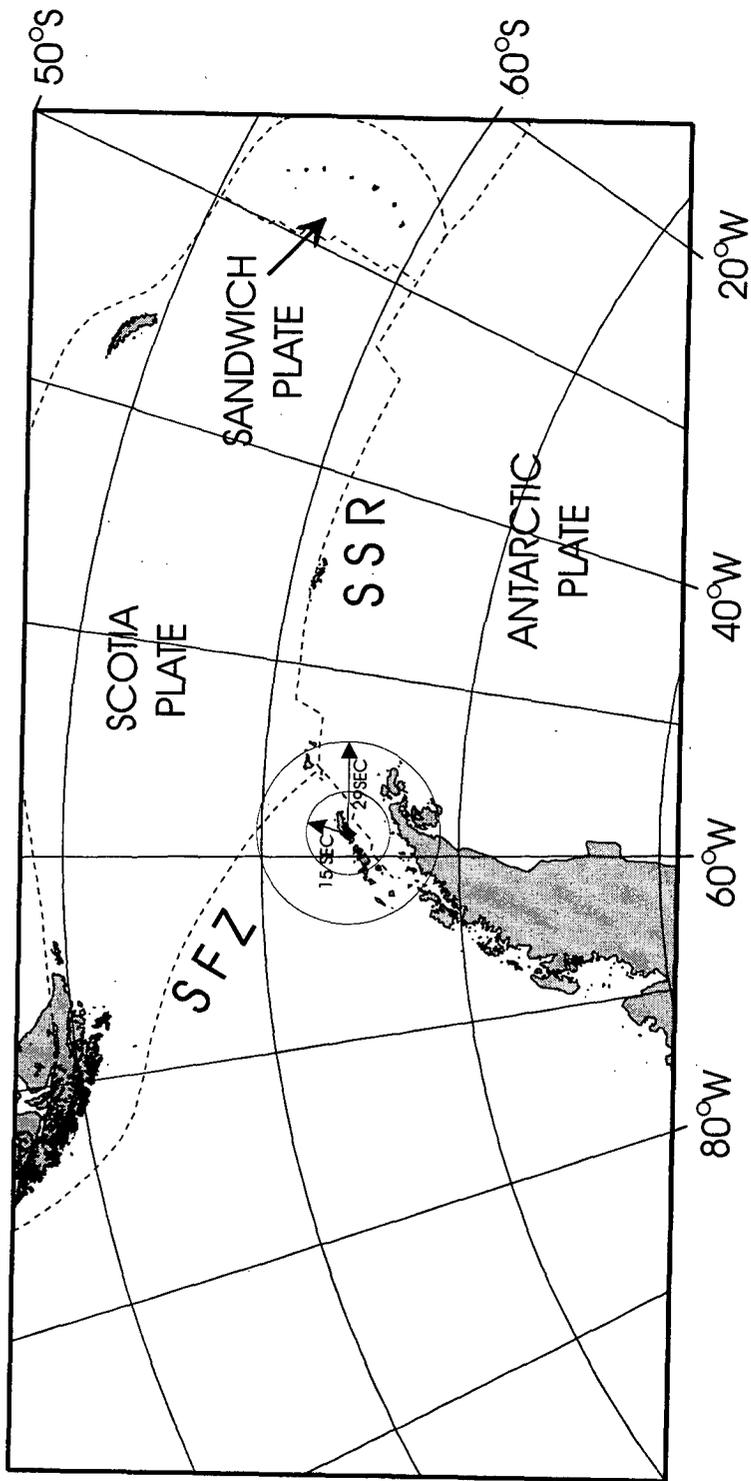


Fig. 13. Epicentral distances of the P-S time 15 and 29 seconds, the inner circle is for 15 seconds and the outer is for 29 seconds. The dashed lines delineate plate boundary

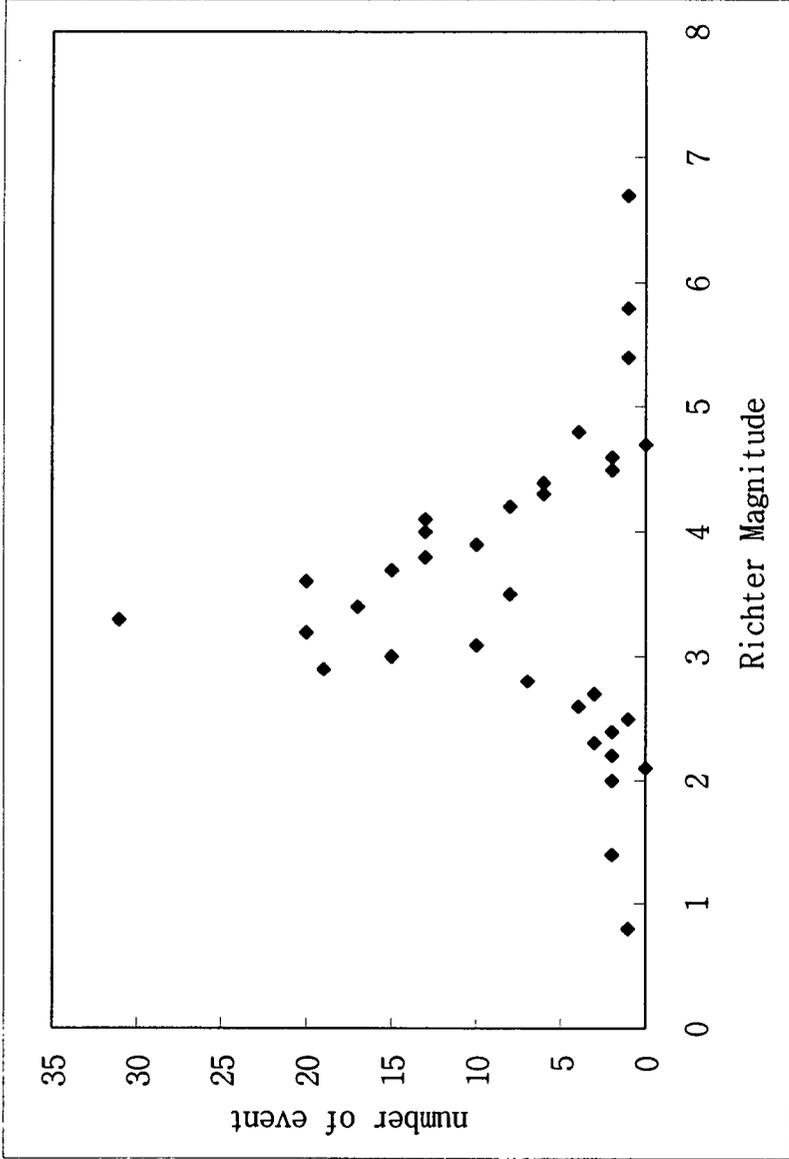


Fig. 14. Number of events versus Richter scale the local earthquakes.

지진이 발생하였음을 알 수 있다 (Fig. 15). 이 진앙분포도에는 브랜스필드 동부 분지에서 킹조지섬의 북동단을 지나 남세틀랜드 해구까지 북서-남동 방향의 방향을 가지고 일직선상으로 진앙이 배열하는 특이한 모습을 관찰할 수 있다. 이는 이 배열을 따라서 지진을 발생시킬 수 있는 알려지지 않은 지질구조의 존재를 시사한다.

제 6 장 결론 및 토의

세종기지에서 관측된 지진들은 연도별로 볼 때 1994년에 가장 많이 발생했고, 92년 이후로 증가하는 추세를 보인다. 이들 지진을 월별로 살펴보면 94년 1월, 2월과 96년 6월에 그 횟수가 많은 것으로 나타나는데, 이것은 군발지진에 의한 것이다. 세종기지에서 관측된 원거리 지진은 대부분 규모 5.0 이상이고, 나즈카와 남아메리카판의 경계, 남 샌드위치 아크, 통가지역에서 발생한 지진들이 대부분을 차지하였다 (Fig. 11). 기지주변에서 발생한 국지지진들 중에서 PS시에 따라 구분하면, 15초에서 16초 사이의 지진이 가장 많은 빈도수를 보이는데, 이는 이 지역의 지구조적인 운동과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 이 지역에서 가장 빈번히 일어나는 P-S시 15초와 29초의 지진발생지역을 대략적으로 살펴보면, 15초는 디셉션섬이나 동부 브랜스필드해협일 가능성이 높고, 29초의 지진은 세클톤 파쇄대 및 남스코시아 해저산맥 부근에서 발생한 것으로 추정할 수 있다.

이상에서 살펴본 것과 같이 세종기지 주변에서는 군발지진이 많이 발생되며, 이들은 몇몇 지역에 국한되어 나타나는 것으로 보인다. 또한 규모가 적은 지진이 많이 발생하고 있어, 이 지역의 판구조적인 운동이 미약하다고 가정할 수 있다고 생각한다. 그러나 브랜스필드 해협의 성인과 관계되는 이벤트들은 15초 이하의 지진들에 대한 연구가 수행된다면 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다.

지진연구가 오랜 기간 동안에 걸친 자료 축적을 필요로 하는 만큼, 지난 십여년에 걸친 세종기지에서 지진 관측활동은 아직은 기초단계에 머물러 있는 수준이다. 정량적인 지진연구를 위해서는 지속적인 디지털 자료의 기록이 이루어져야 하

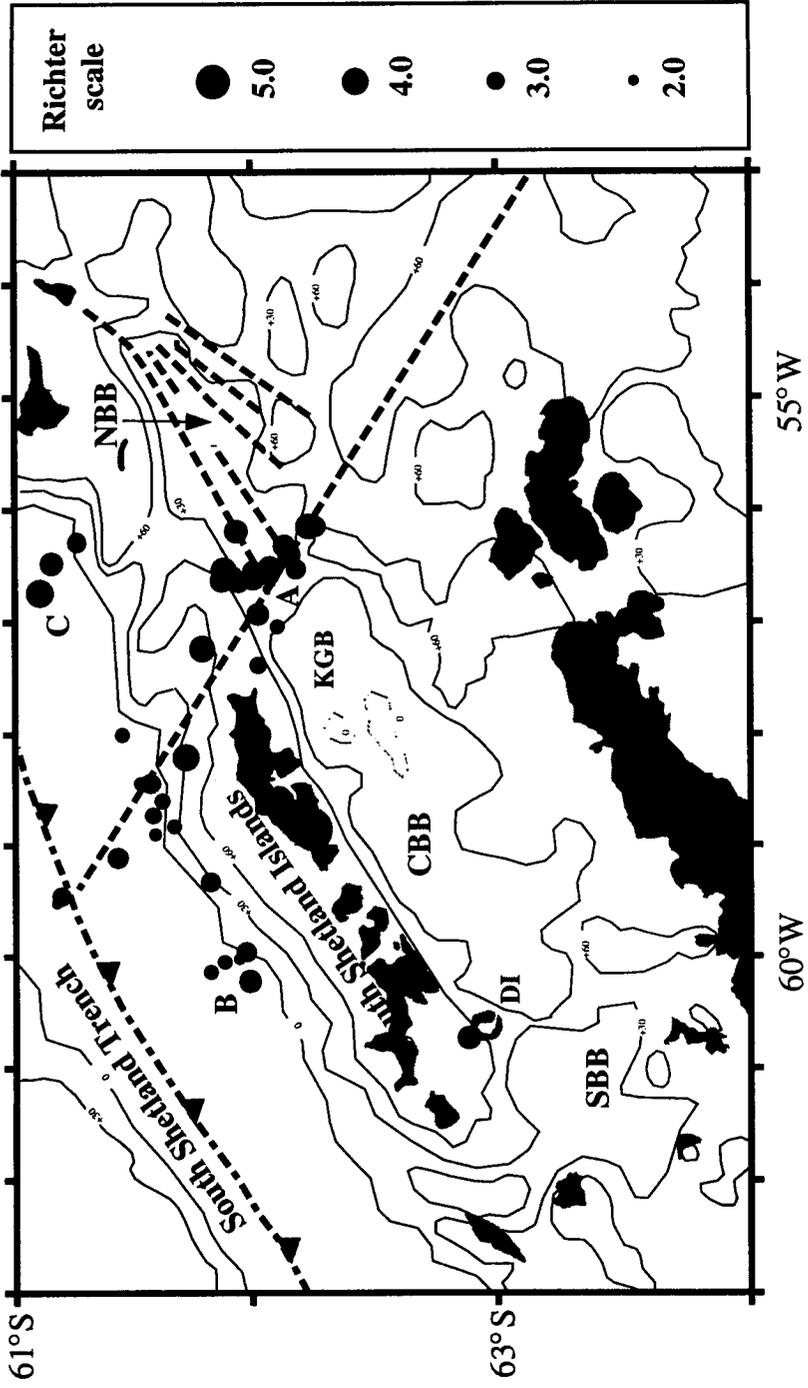


Fig. 15. Estimated hypocenters around the King Sejong Station from Jan., 1995 to Sep., 1996.

며, 세종기지 부근의 지진뿐만 아니라 전세계 전역에서 발생하는 원거리 지진까지 포착할 수 있는 광역주기 지진계의 설치가 요망된다. 이를 통해 세종기지의 지진관측시스템이 명실상부한 국제적 지진관측망의 일원으로서 참여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 김규중, 진영근, 남상현, 김예동, 1996, 세종기지에서 얻은 지진기록 분석, 남극환경 특성 및 보존에 관한 연구, BSPN 00320-941-7, 87-106.
- 김형수, 남상현, 김예동, 강천윤, 1995, 남극 세종기지에서의 천부 영구동토층 조사를 위한 지구물리 탐사:천부 반사법 탄성과 및 전기 비저항 탐사, 남극환경 특성 및 보존에 관한 연구, BSPN 00258-822-7, 167-207.
- Akamatsu J., Ichikawa N. and Kaminuma K., 1989, Seismic observation with local telemetry network around Syowa station, East Antarctica, Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., No. 3, 1-12.
- Barker, D.H.N., and Austin, Jr., J.A., 1994, Crustal diapirism in Brasfield Strait, West Antarctica: Evidence for distributed extension in marginal-basin formation, *Geology*, 22, 657-660.
- Barker, F., and Burrell, J., 1977, The opening of Drake Passage, *Mar. Geol.*, 25, 15-34.
- Baker P. F., Phil D., McReath M. A., Harvey M. R., Roobol M. J. and Davies T. G., 1975, The geology of the South Shetland Islands V.:Volcanic evolution of Deception Island, *Br. Ant. Sur. Sc. Rep. No. 78*, p.81.
- Birkenmajer k., 1982, The Penguin Island volcano South Shetland Islands. Its structure and succession, *Stud. Geol. Pol.*, No. 74, 155-173.
- Forsyth, D.W., 1975, Fault plane solutions and tectonics of the South Atlantic and Scotia Sea, *J. Geophys. Res.*, 80, 1429-1443.
- Klepeis K. A. and Lawver L. A., 1996, Tectonics of the Antarctic-Scotia plate

- boundary near Elephant and Clarence Islands, West Antarctica, *J. Geo. Res.*, Vol 101, No. B9, 20211-20231.
- Larter, R.D., and Barker, F., 1991, Effects of ridge crest-trench interaction on Antarctic-Phoenix spreading: Forces on a young subduction plate, *J. Geophys. Res.*, 96, 19587-19607.
- Lawver A.L., Keller R. A., Fisk M. R. and Strelin J. A., 1995, Bransfield Strait, Antarctic Peninsula Active Extension behind a Dead Arc, Back-arc Basins: Tectonics and Magmatism, Plenum Press, New York, 315-342.
- Lawver A.L., Sloan B. J., Baker D. H. N., Ghidella M., Von Herzen R. P., Keller A. R., 1996, Distributed, Active Extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Evidence from Multibeam Bathymetry, *GSA Today*, v.6, No. 11, 1-6.
- Magotra, N., Ahmed, N., and Chael, E., 1987, Seismic Event Detection and Source Location using Single-Station (Three-Component) Data, *Bull. Seis. Soc. America*, 77, 958-971.
- Pelayo A. M. and Wiens D. A., 1989, Seismotectonics and relative plate motions in the Scotia Sea region, *J. Geophys. Res.*, Vol. 94, No. 86, 7293-7320.
- Privitera E., Villari L. and Gambino S., 1992, An approach to the seismicity of MT. Melbourne volcano(Northern Victoria Land - Antarctica), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 499-505.
- Roberts, R.G., Christoffersson, A., and Cassidy, F., 1989, Real-time event detection, phase identification and source location estimation using single station three-component seismic data, *Geophysical Journal*, 97, 471-480.
- Rudd, B.O., Husebye, E.S., Ingate, S.F., and Christoffersson, A., 1988, Event location at any distance using seismic data from a single, three-component station, *Bull. Seis. Soc. America*, 78, 308-325.
- Saunders, A.D., and Tarney, J., 1982, Igneous activity in the southern Andes

- and northern Antarctic Peninsula: A review, *J. Geol. Soc. London*, 139, 691-700.
- Tokarski, A.K., 1991, The late Cretaceous-Cenozoic structural history of King George Island, South Shetland Islands, and its plate-tectonic setting, in Thomson, M.R.A., Crame, J.A., and Thomson J.W. (eds.), *Geological Evolution of Antarctica*, Cambridge University Press, Cambridge, 493-497.
- Uyeda, S., and Kanamori, H., 1979, Back-arc opening and the mode of subduction, *J. Geophys. Res.*, 84, 886-898.
- Vila J., Ortiz R., Correig A. M. and Garcia A., 1992, Seismic Activity on Deception Island, *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 449-456.

APPENDIX I

HEADER OF DIGITAL DATA

HDRRPT Version 3.03 - 21 Feb 1300 hrs.

Checking for presence of file: 960130A

Filename: 960130A.HDR

Primary stream file.

Number of blocks in file: 43

+++ Miscellaneous Parameters. +++

Header for serial number: 102 [1]

IOP event number: 1 [2]

DRC event number: 1

DSM ram size (in pages): 4096 [3]

DSM pages in use: 0

Main battery: 12.899 volts, RAM battery: 3.688 volts [4] [5]

Restart counter: 1142 [6]

Pre-programmed leap second: 0 [7]

Restart status: 57h [8]

Restart occurred

Loss of carrier

ADC buffer overflow

Monitor timeout

Break occurred

System status: 00h [9]

DIP switch S1: FFh [10]

DIP switch S2: FFh [11]

Front end board status: 1 [12] Chs 1-3 installed

Accumulated off time: [13] (0) 0/00/0000 1:00:00.000

Password: XXXXXXXXX [14]

Monitor Bypass: 0 (No) [15]

+++ Window Parameters +++

Window on-time: (0) 0/00/0000 0:00:188.007 [16]

Impulse Trigger: 0 (No) [17]

Event Priority: 0 (Window) [18]

Power Control: 1 (ON) [19]

Window number: 0 [20]

+++ Stream Control Parameters +++

Stream Mode: 0 (Normal mode) [21]

Sample clock source: 0 (IOP) [22]

Sample clock mode: 0 (Free run) [23]

Sample period: 5 [24]

Secondary stream decimation factor: 0 [25]

+++ Acquisition - Sampling, Gain, and Filter Parameters +++

Chan 1 gain code: 1, gain: 10 [26]

Chan 2 gain code: 1, gain: 10 [27]

Chan 3 gain code: 1, gain: 10 [28]

Chan 4 gain code: 1, gain: 10 [29]

Chan 5 gain code: 1, gain: 10 [30]

Chan 6 gain code: 1, gain: 10 [31]

Chans 1-3 filter I.D. of filter location 0 : 8 - 50 Hz BTW [32]

Chans 1-3 filter I.D. of filter location 1 : 2 - 5.0 Hz BTW [33]

Chans 1-3 filter I.D. of filter location 2 : 4 - 15 Hz BTW [34]

Chans 4-6 filter I.D. of filter location 0 : 255 - 1 Khz SPF [35]

Chans 4-6 filter I.D. of filter location 1 : 255 - 1 Khz SPF [36]

Chans 4-6 filter I.D. of filter location 2 : 255 - 1 Khz SPF [37]

Chans 1-3 selected filter location (0-3): 0 - 50 Hz BTW [38]

Chans 4-6 selected filter location (0-3): 0 - 1 Khz SPF [39]

Chan 1 hi-pass filter code: 0, DC coupled [40]
Chan 2 hi-pass filter code: 0, DC coupled [41]
Chan 3 hi-pass filter code: 0, DC coupled [42]
Chan 4 hi-pass filter code: 0, DC coupled [43]
Chan 5 hi-pass filter code: 0, DC coupled [44]
Chan 6 hi-pass filter code: 0, DC coupled [45]

+++ Triggering and Recording Parameters +++
(Primary stream)

Selected channels: 07h - 1 2 3 [46]
Number of primary stream channels: 3 [47]
Primary stream APW: 4 scans [48]
Primary stream trigger data decimation factor: 0 [49]
Chan 1 votes: 1 [50]
Chan 2 votes: 2 [51]
Chan 3 votes: 1 [52]
Chan 4 votes: 1 [53]
Chan 5 votes: 1 [54]
Chan 6 votes: 1 [55]
External trigger votes: 1 [56]
Votes required to trigger: 1 [57]
Primary stream PEM length in seconds: 10 [58]
 Computed length of PEM in scans: 2000
 Computed number of bytes in PEM: 12000
Primary post-event runtime (PRT) in seconds: 20 [59]
Primary minimum runtime (MRT) in seconds: 30 [60]
Primary Trigger algorithm byte: 07h
 Trigger type: STA vs. LTA [61]
 STA vs LTA comparison: Ratio [62]
 LTA during event: Clamped [63]
 LTA computation: Weighted [64]

Primary stream STA: 1000 [65]
Primary stream LTA: 6 [66]
Chan 1 threshold: 2048 counts [67]
Chan 2 threshold: 2048 counts [68]
Chan 3 threshold: 2048 counts [69]
Chan 4 threshold: 2048 counts [70]
Chan 5 threshold: 2048 counts [71]
Chan 6 threshold: 2048 counts [72]
Chan 1 ratio code: 3 - 3.0:1 [73]
Chan 2 ratio code: 3 - 3.0:1 [74]
Chan 3 ratio code: 3 - 3.0:1 [75]
Chan 4 ratio code: 4 - 4.0:1 [76]
Chan 5 ratio code: 4 - 4.0:1 [77]
Chan 6 ratio code: 4 - 4.0:1 [78]
Chan 1 LTA offset: 2 [79]
Chan 2 LTA offset: 2 [80]
Chan 3 LTA offset: 2 [81]
Chan 4 LTA offset: 2 [82]
Chan 5 LTA offset: 2 [83]
Chan 6 LTA offset: 2 [84]
Trigger status: 02h [85]
Ch 2 trigger

+++ Triggering and Recording Parameters +++
(Secondary stream)

Selected channels: 07h - 1 2 3 [86]
Number of secondary stream channels: 3 [87]
Secondary stream APW: 4 seconds [88]
Secondary stream trigger data decimation factor: 0 [89]
Chan 1 votes: 1 [90]
Chan 2 votes: 1 [91]

Chan 3 votes: 1 [92]
Chan 4 votes: 1 [93]
Chan 5 votes: 1 [94]
Chan 6 votes: 1 [95]
External trigger votes: 1 [96]
Votes required to trigger: 1 [97]
Secondary stream PEM length in seconds: 4 [98]
 Computed length of PEM in scans: 800
 Computed number of bytes in PEM: 4800
Secondary post-event runtime (PRT) in seconds: 10 [99]
Secondary minimum runtime (MRT) in seconds: 12 [100]
Secondary Trigger algorithm byte: 07h
 Trigger type: STA vs. LTA [101]
 STA vs LTA comparison: Ratio [102]
 LTA during event: Clamped [103]
 LTA computation: Weighted [104].
Secondary stream STA: 64 [105]
Secondary stream LTA: 64 [106]
Chan 1 threshold: 2048 counts [107]
Chan 2 threshold: 2048 counts [108]
Chan 3 threshold: 2048 counts [109]
Chan 4 threshold: 2048 counts [110]
Chan 5 threshold: 2048 counts [111]
Chan 6 threshold: 2048 counts [112]
Chan 1 ratio code: 4 - 4.0:1 [113]
Chan 2 ratio code: 4 - 4.0:1 [114]
Chan 3 ratio code: 4 - 4.0:1 [115]
Chan 4 ratio code: 4 - 4.0:1 [116]
Chan 5 ratio code: 4 - 4.0:1 [117]
Chan 6 ratio code: 4 - 4.0:1 [118]
Chan 1 LTA offset: 2 [119]
Chan 2 LTA offset: 2 [120]

Chan 3 LTA offset: 2 [121]
Chan 4 LTA offset: 2 [122]
Chan 5 LTA offset: 2 [123]
Chan 6 LTA offset: 2 [124]
Trigger status: 00h [125]
Continuous

+++ Functional Test Parameters +++

Chans 1-3 CAL DAC value: 0418h [126]
1000 uA
Chans 4-6 CAL DAC value: 0418h [127]
1000 uA
Auto-FT flag: 0 [128]

+++ Timing System Parameters +++

Timing system IRIG source: 2, ??? [129]
Generated time code format: 1 [130]
Decode time code format (External or Omega): 1 [131]
Recorded time code format: 1 [132]
Header clock sync source byte: 0 - Initialization [133]
Advance/Retard flag: 0 [134]
Time zone offset: 0 [135]
Timing System status: 0 [136]
Omega Station - Quality: 0 - Undefined [137]
Number of times TS matched IRIG: 0 [138]
Number of times TS updated to IRIG: 0 [139]
IRIG loss of phase lock: 0 [140]

+++ Omega Receiver Parameters +++

Omega receiver status: 0 [141]
Omega receiver mode: 0 [142]
Omega receiver station: 3, North Dakota (ND) [143]
Omega receiver turn-on interval (minutes): 0 [144]
Omega receiver leap seconds: 0 [145]
Omega receiver failures to lock: 0 [146]

+++ Location Parameters +++

Ref. latitude: -62:13:31. 0 [147]
Ref. longitude: -58:47: 7. 8 [148]
Ref. elevation: 53 [149]
Chan 1 North relative displacement: 0 [150]
Chan 1 East relative displacement: 0
Chan 1 Vertical relative displacement: 0
Chan 2 North relative displacement: 0 [151]
Chan 2 East relative displacement: 0
Chan 2 Vertical relative displacement: 0
Chan 3 North relative displacement: 0 [152]
Chan 3 East relative displacement: 0
Chan 3 Vertical relative displacement: 0
Chan 4 North relative displacement: 0 [153]
Chan 4 East relative displacement: 0
Chan 4 Vertical relative displacement: 0
Chan 5 North relative displacement: 0 [154]
Chan 5 East relative displacement: 0
Chan 5 Vertical relative displacement: 0
Chan 6 North relative displacement: 0 [155]
Chan 6 East relative displacement: 0
Chan 6 Vertical relative displacement: 0
Displacement code: 1 (meters) [156]
Chan 1 altitude relative to horizontal: 0 degrees [157]

Chan 2 altitude relative to horizontal: 0 degrees [158]
Chan 3 altitude relative to horizontal: 0 degrees [159]
Chan 4 altitude relative to horizontal: 0 degrees [160]
Chan 5 altitude relative to horizontal: 0 degrees [161]
Chan 6 altitude relative to horizontal: 0 degrees [162]
Chan 1 azimuth, North CW: 0 degrees [163]
Chan 2 azimuth, North CW: 0 degrees [164]
Chan 3 azimuth, North CW: 0 degrees [165]
Chan 4 azimuth, North CW: 0 degrees [166]
Chan 5 azimuth, North CW: 0 degrees [167]
Chan 6 azimuth, North CW: 0 degrees [168]

+++ Documentation Parameters +++

Chan 1 user code: 0 [169]
Chan 2 user code: 0 [170]
Chan 3 user code: 0 [171]
Chan 4 user code: 0 [172]
Chan 5 user code: 0 [173]
Chan 6 user code: 0 [174]
Chan 1 I.D.: 1678,NS [175]
Chan 2 I.D.: 1679,UD [176]
Chan 3 I.D.: 1680,EW [177]
Chan 4 I.D.: SPARE CH [178]
Chan 5 I.D.: SPARE CH [179]
Chan 6 I.D.: SPARE CH [180]
Chan 1 sensor code: 0 ,+/- 2 g FBA [181]
Chan 2 sensor code: 0 ,+/- 2 g FBA [182]
Chan 3 sensor code: 0 ,+/- 2 g FBA [183]
Chan 4 sensor code: 0 ,+/- 2 g FBA [184]
Chan 5 sensor code: 0 ,+/- 2 g FBA [185]
Chan 6 sensor code: 0 ,+/- 2 g FBA [186]

Comment: KING SEJONG STATION [187]

+++ Non-parameter Header Values +++

Event crc: 87CEh

Event crc complemented: 7831h

DRC program version: 3.51

IOP program version: 3.52

Timing System program version: 0.00

Compression flag: 0

Chan 1 positive peak: 800Ah

Chan 1 negative peak: 7FFDh

Chan 2 positive peak: 80E2h

Chan 2 negative peak: 7F77h

Chan 3 positive peak: 8003h

Chan 3 negative peak: 7FF6h

Chan 4 positive peak: 8000h

Chan 4 negative peak: 8000h

Chan 5 positive peak: 8000h

Chan 5 negative peak: 8000h

Chan 6 positive peak: 8000h

Chan 6 negative peak: 8000h

Header Timing System time: (0) 0/01/0000 30:00:204.007

Header Backup clock time: (0) 0/01/0000 30:00:204.007

Header Timing System sync time: (0) 0/00/0000 0:00:188.007

Header Timing System time at last sync: (0) 0/00/0000 0:00:188.007

+++ Trailer Values +++

Trailer Timing System time: (0) 0/01/0000 30:00:204.007

Trailer clock sync source byte: 0 - Initialization

Omega receiver status: 0

Trailer Timing System sync time: (0) 0/00/0000 0:00:188.007
Trailer Timing System time at last sync: (0) 0/00/0000 0:00:188.007
Number of times TS updated to IRIG: 0
Number of times TS matched IRIG: 0
Omega receiver failures to lock: 0
Timing System status: 0
Omega Station - Quality: 0 - Undefined

+++ End of Report+++

APPENDIX II

LIST OF EARTHQUAKES

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital
1990		
Mar. 06	10 55 59	
	12 15 16 35	
	18 20 39 09	
	31 13 20 37	
Apr. 17	17 04 19	
	28 17 14 49	
June 20	05 26 08	
July 08	14 11 10	
	08 14 32 23	
Sep. 12	20 17 16	
Dec. 16	18 32 40	
1991		
Jan. 08	19 18 48	
Mar. 01	17 41 50	
	05 22 44 09	
	11 21 24 22	
	25 08 14 41	
Apr. 04	04 58 00	
Mar. 02	19 10 51	
June. 07	19 19 34	
Nov. 05	15 58 05	
	05 19 47 00	
	14 14 50 19	911114(A)
	30 14 39 33	
1992		
Jan. 04	20 42 58	
Feb. 24	11 19 47	
Mar. 06	17 01 24	
	07 01 42 11	
	08 07 33 07	
	08 17 35 49	
	20 18 22 55	

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital
Apr. 18	19 45 37	
May. 21	05 19 53	
Jun. 17	08 39 48	960617(A) 960617-China(A)
	21 10 59 46	
	22 02 46 18	
	22 04 04 46	
Jul. 13	18 21 30	920713(A)
Aug. 19	02 24 12	
	24 19 44 28	
Sep. 01	07 07 10	920901(A)
	28 03 20 16	
Oct. 01	03 23 20	
	01 18 17 56	
	09 01 11 10	
	11 19 37 13	
	14 22 35 32	
	18 15 23 15	
	23 01 51 16	
	27 03 15 02	921027(A)
	27 03 32 15	"
	30 15 45 23	921030(A)
Nov. 12	15 03 55	
	21 22 43 41	921121(A)
	23 15 18 49	921123(A)
	28 03 20 01	
Dec. 05	23 12 42	
1993		
Jan. 05	15 24 28	
	10 14 42 48	930110(A)
	11 01 35 15	930111(A)
	25 15 06 51	
	25 15 23 32	
	25 17 01 08	

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital	Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital		
	25	17 18 53		17	04 01 54		
	28	01 18 01		20	05 53 42	930920a(A)	
Feb.	06	12 46 55		20	05 56 11		
	18	01 00 42		20	19 19 51	930920b(A)	
	26	05 32 15		23	13 18 23		
Mar.	09	07 49 35		27	13 39 47		
	09	23 49 34	Oct.	08	02 03 33		
	10	12 43 12		13	01 51 57		
	15	16 16 00		13	14 56 12		
	20	09 24 25		16	00 48 07		
	25	06 25 18		17	11 27 27		
	29	07 05 29		18	18 16 13		
Apr.	05	04 03 50		19	04 09 34		
	05	16 55 23		22	08 46 29		
	08	20 14 52		26	13 51 51		
	15	08 58 44		27	16 28 54		
May.	02	11 31 07	930502(A)	Nov.	01	09 54 22	
	03	11 57 23			01	12 53 42	
	11	18 08 07			09	09 31 32	
	24	23 58 25	930524(A)		12	09 47 39	
Jun.	08	23 23 50			17	09 31 19	
	12	01 19 24	930612(A)	Dec.	01	01 03 04	
	23	11 29 48			04	15 54 36	931204(A)
Jul.	02	19 34 17	930702(A)		06	09 11 54	
	12	13 37 38			18	13 33 20	
	16	17 52 19			18	13 34 29	
	17	01 42 18			24	03 08 00	
Aug.	07	16 01 28	930807(A)				
	09	13 01 45					
	12	08 45 31	930812(A)	1994			
	20	01 03 18	930820(A)	Jan.	10	16 01 47	
	25	05 30 25			15	23 14 08	
Sep.	09	21 56 09			16	00 09 59	
	10	19 25 08			19	19 58 10	
	16	19 44 58			22	06 05 27	

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital	Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital	
	22	06 15 49		01	22 52 56	
	22	06 27 44		01	23 25 33	
	23	21 52 18		06	14 19 48	
	23	22 22 28		09	23 39 55	940309(A)
	24	13 32 34		11	09 35 51	
	24	14 15 14		11	19 35 50	
	30	00 31 32		11	19 45 51	
Feb.	02	15 58 47		14	21 03 29	
	03	07 29 54		19	10 48 38	
	03	21 32 02		31	06 14 11	
	04	10 47 49	Apr.	12	13 48 27	
	04	11 01 27		22	14 44 41	
	04	17 19 23		29	07 17 29	940429(A)
	06	03 18 59		30	06 12 21	940430(A)
	06	08 47 37	May.	02	06 10 50	
	09	02 58 11		03	03 56 22	
	09	03 00 07		04	01 44 09	
	09	03 03 30		05	20 46 16	
	11	21 30 19		10	06 42 23	940510(A)
	12	18 11 15	Jun.	06	20 58 30	
	13	15 02 37		09	00 41 06	940609(A)
	15	00 22 46	Jul.	18	00 24 02	
	16	01 59 37		25	04 43 22	
	16	05 29 41		25	22 04 15	940725(A)
	16	06 47 22	Aug.	02	01 58 24	
	16	09 27 31		07	16 09 44	
	20	15 17 42		10	14 01 46	
	20	18 29 51		14	11 04 55	
	25	00 06 10		19	10 09 05	
	27	06 16 10	Sep.	12	06 36 21	
	27	18 22 16	Oct.	01	06 02 04	
	27	18 51 03		04	13 43 01	
	28	08 56 46		08	04 52 41	
	28	08 57 52		12	19 43 46	
Mar.	01	02 20 15	Nov.	04	01 21 47	

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital
	05	02 25 53
	24	08 16 19
	25	14 09 59
Dec.	07	03 45 03
	09	16 45 12
	27	05 41 27
	31	06 40 06
	31	11 30 29
1995		
Jan.	03	16 14 23
	04	06 48 56
	04	10 30 47
	06	18 05 20
	17	06 41 50
	19	15 16 03
	25	23 39 55
	28	08 51 05
	29	05 32 40
	31	09 11 03
Feb.	05	23 02 17
	11	12 56 17
	14	16 01 10
	17	21 21 07
Mar.	07	22 59 52
	10	10 24 27
	15	22 32 49
	15	23 13 20
	17	10 11 52
	21	06 38 11
	26	02 20 14
	28	17 55 28
	29	00 41 40
	31	04 25 14
	31	17 30 23

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital
	31	23 30 08
Apr.	02	17 26 08
	07	19 19 45
	11	19 00 41
		950411d(D)
	14	13 19 34
	19	21 46 28
	28	07 30 13
May	02	06 16 03
	08	23 31 32
		950502(A)
		950508(A)
		950508c(D)
	16	20 25 29
	20	13 48 57
	23	22 17 20
	28	15 56 44
	30	02 49 17
Jun.	01	08 57 17
	01	11 46 42
	02	19 13 41
	04	11 20 30
	04	11 57 25
	04	23 08 50
	09	02 56 05
	10	04 02 20
	13	22 47 06
	14	11 23 42
	21	15 38 12
	22	10 58 25
	26	03 45 44
	26	10 39 50
	28	19 07 38
	29	05 23 10
	29	12 46 46
Jul.	02	00 01 48
	03	20 02 38

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital	Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital
	04	05 26 02	1996		
		950704(A)	Jan.	30	23 16 55
		950704a(D)			960130(A)
	04	19 55 51			960130b(D)
	18	01 46 24	Feb.	10	12 17 40
	26	01 45 15			960210(A)
	29	20 15 21		14	09 56 16
	30	05 18 50		22	00 19 41
	30	21 13 21			960222(A)
Aug.	03	02 04 55			960222(D)
	03	08 25 36		24	14 28 36
	05	02 31 17		29	02 30 25
	07	17 12 35	Mar.	07	06 16 38
	10	04 49 17		13	13 49 22
	18	02 20 21		20	09 21 15
	19	21 54 21		26	21 35 58
	23	07 26 45	Apr.	08	19 59 58
Sep.	03	14 49 22		11	00 47 28
	20	20 37 10		12	22 08 08
Oct.	03	02 01 43		15	19 15 31
	03	13 49 02		16	00 42 57
		951003(A)		19	00 26 55
		951003b(D)		19	02 59 39
	06	05 34 30		29	00 38 36
	06	05 39 10	May	02	17 30 07
	09	14 48 45		13	12 28 38
Nov.	01	00 42 18		21	04 35 07
	01	08 52 10		26	10 48 06
	01	09 17 33		30	03 08 37
	09	09 35 51	Jun.	02	10 39 29
	21	15 56 45		08	03 37 26
		951101b(D)		08	15 43 49
		951109a(D)			960608a(A)
		951121(A)			960608b(A)
		951121a(D)			960608(D)
Dec.	04	06 12 46			960610(D)
	10	11 00 39		10	04 23 13
	27	18 37 24		12	00 33 11
	31	13 56 40		13	11 49 01
		951204a(D)		17	11 37 03
		951210a(D)			960613(A)
					960613(D)

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital	Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital	
	29	23 19 47		09	04 18 06	960709(A)
Jul.	02	02 43 59				960709(D)
	02	02 45 57		09	22 35 24	
	03	11 21 25		09	22 38 43	
	03	15 55 00		10	18 37 57	
	04	11 38 17		10	18 56 56	
	04	16 18 57		10	19 16 11	
	05	00 21 42		10	19 53 54	
	05	12 44 44		10	19 55 07	
	05	22 16 03		10	20 29 33	
	06	01 49 21		10	23 50 43	
	06	05 47 57		11	00 07 55	
	06	07 29 21		12	00 01 27	
	06	07 35 25		13	13 16 04	
	06	07 43 02		14	00 15 23	960714(D)
	06	07 58 18		15	20 25 26	
	06	08 00 20		16	01 17 19	
	06	11 05 19		17	13 40 47	
	06	12 29 48		19	06 25 54	
	06	14 49 46		19	11 33 59	960719(A)
	06	16 46 04				960719(D)
	06	18 11 12		20	13 20 00	
	06	18 20 32		21	11 38 23	960721(D)
	06	20 01 10		25	15 07 50	960725(D)
	07	04 10 52		28	20 44 31	960728(D)
	07	07 27 19	Sep.	02	05 24 15	960902(A)
	07	07 32 50				960902(D)
	07	07 39 40		08	00 26 59	
		960707b(D)		15	00 45 50	
	07	07 54 12		15	01 39 55	
	07	15 08 02		15	05 32 42	
	07	15 12 31		15	05 40 17	
		960707c(D)		26	16 20 36	
	07	17 13 23		27	16 50 09	
	08	08 05 41		29	20 28 54	

Date	Arrival time (hh mm ss)	Remark (A):Analog (D):Digital
Oct. 18	15 04 22	
22	02 51 24	
Nov. 12	17 08 32	961112(A)
19	19 38 45	
Dec. 03	21 09 17	
04	04 29 49	

List of teleseismic events

No.	Origin time			Geographic		Region	Depth		Epicentral distance (degree)
	Year	Date	U T C	Latitude (degree)	Longitude (degree)		(km)	(Mb)	
1	1991	03/01 17 30	26.0	10.939 N	84.637 W	COSTA RICA	197	6.1	75.678
2	1991	03/11 21 24	22.0	51.154 S	29.255 E	SOUTH OF AFRICA	10	5.8	45.861
3	1992	06/17 08 39	15.4	60.373 S	57.074 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS	10	5.8	2.036
4		06/21 10 52	42.2	26.503 S	70.659 W	NORTHERN CHILE COAST	39	5.7	36.593
5		06/22 04 00	41.6	60.728 S	21.969 W	SOUTH WESTERN ATLANTIC OCEAN	12	6.0	17.493
6		07/13 18 11	33.7	3.919 S	76.602 W	NORTHERN PERU	97	6.1	59.677
7		08/19 02 04	37.4	42.142 N	73.575 E	KIRGHIZ REGION	27	6.6	145.621
8		08/24 19 40	43.9	56.622 S	26.552 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	107	5.9	17.197
9		10/01 03 21	04.3	53.591 S	52.661 W	SOUTH ATLANTIC OCEAN	10	5.3	9.382
10		10/11 19 24	26.2	19.247 S	168.948 E	VANUATU ISLANDS	129	6.4	90.468
11		10/18 15 11	59.1	7.075 N	76.862 W	NORTHERN COLOMBIA	10	6.6	70.499
12		11/12 15 00	38.7	53.767 S	51.727 W	SOUTH ATLANTIC OCEAN	10	5.7	9.268
13		11/21 22 39	32.9	56.665 S	26.405 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	20	5.9	17.243
14		11/28 03 13	33.3	31.330 S	71.992 W	NEAR CENTRAL CHILE COAST	12	5.8	32.074
15		01/10 14 39	00.3	59.274 S	26.205 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	61	6.3	16.091

16	1993	02/06	12	42	51.6	56,522 S	25,765 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	5.3	17,618
17		03/09	07	45	43.6	59,524 S	25,709 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	5.7	16,180
18		03/10	12	39	23.9	59,700 S	25,719 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	5.4	16,145
19		03/15	16	08	57.8	26,708 S	70,918 W	NEAR COAST OF NORTHERN CHILE	29	6.0	36,429
20		03/20	09	20	32.5	56,084 S	27,803 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	116	6.0	16,909
21		03/29	06	57	19.5	53,039 S	27,396 W	SOUTH OF AFRICA	10	5.9	43,688
22		04/05	04	00	05.3	59,801 S	26,312 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	6.0	15,829
23		04/05	16	51	39.7	59,787 S	26,203 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	5.7	15,885
24		05/02	11	26	54.8	56,415 S	24,491 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	13	6.3	18,272
25		05/24	23	51	20.8	23,238 S	66,631 W	JUJUY PROVINCE, ARGENTINA	221	6.2	39,337
26		05/24	23	51	28.2	22,671 S	66,543 W	JUJUY PROVINCE, ARGENTINA	221	6.6	39,891
27		06/08	23	17	41.4	31,560 S	69,234 W	SAN JUAN PROVINCE, ARGENTINA	113	6.5	31,418
28		06/23	11	29	19.3	60,549 S	56,376 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS	10	6.2	2,045
29		07/11	13	36	21.2	25,304 S	70,166 W	NEAR COAST OF NORTHERN CHILE	48	6.2	37,703
30		07/12	13	17	11.9	42,851 S	139,197 E	HOKKAIDO, JAPAN	17	6.6	157,872
31		07/17	01	35	39.7	30,000 S	71,591 W	NEAR COAST OF CENTRAL CHILE	52	5.5	33,307
32		08/09	12	42	48.1	36,379 N	70,868 E	HINDU KUSH	215	6.2	139,725
33		08/25	05	25	32.3	44,718 S	79,958 W	OFF COAST OF SOUTHERN CHILE	10	5.6	21,419
34		09/09	21	52	12.8	56,214 S	27,332 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	110	5.8	17,056
35		09/10	19	12	54.6	14,717 N	92,645 W	NEAR COAST OF CHIAPAS, MEXICO	34	6.2	81,182

36	1993	09/27	13	37	32.9	53.651 S	51.621 W	SOUTH ATLANTIC OCEAN	33	6.2	9.399
37		10/16	00	41	00.0	24.201 S	67.358 W	CHILE-ARGENTINA BORDER	162	5.1	38.455
38		10/19	04	02	21.9	22.378 S	65.971 W	JUJUY PROVINCE, ARGENTINA	272	5.9	40.131
39		10/22	08	42	16.5	54.835 S	26.557 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	5.5	18.214
40		12/01	00	59	01.2	57.457 S	25.685 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS	33	5.5	17.169
41	1994	01/10	15	53	50.1	13.339 S	69.446 W	PERU-BOLIVIA BORDER	596	6.4	49.414
42		01/22	06	15	26.1	62.106 S	59.121 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS	10	5.1	1.255
43		02/11	21	17	31.1	18.773 S	169.169 E	VANUATU ISLANDS	206	6.4	90.837
44		02/12	17	58	23.9	20.553 S	169.361 E	VANUATU ISLANDS	28	6.4	89.114
45		03/09	23	28	06.7	18.039 S	178.413 W	TONGA ISLANDS	563	6.6	87.042
46		03/14	20	51	24.9	15.994 N	92.428 W	MEXICO-GUATEMALA BOEDER	164	5.8	82.352
47		03/31	06	13	16.3	60.704 S	52.027 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS	10	4.9	3.584
48		04/29	07	11	29.6	28.299 S	63.252 W	SANTIAGO DEL ESTERO PROVINCE, ARGENTINA	562	6.3	34.059
49		05/10	06	36	28.3	28.501 S	63.096 W	SANTIAGO DEL ESTERO PROVINCE, ARGENTINA	601	6.4	33.850
50		06/06	20	47	40.5	2.917 N	76.057 W	COLUMBIA	12	6.4	66.295
51		06/09	00	33	16.2	13.841 S	67.553 W	NORTHERN BOLIVIA	631	7.0	48.725
52		07/25	04	39	17.4	56.967 S	25.497 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	33	5.6	17.508
53		07/25	22	00	22.9	56.352 S	27.365 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	81	6.3	16.964
54		08/02	01	51	22.2	24.045 S	66.790 W	SALTA PROVINCE, ARGENTINA	200	5.1	38.553
55		08/14	10	58	19.7	29.808 S	71.594 W	NEAR COAST OF CENTRAL CHILE	42	5.5	33.495

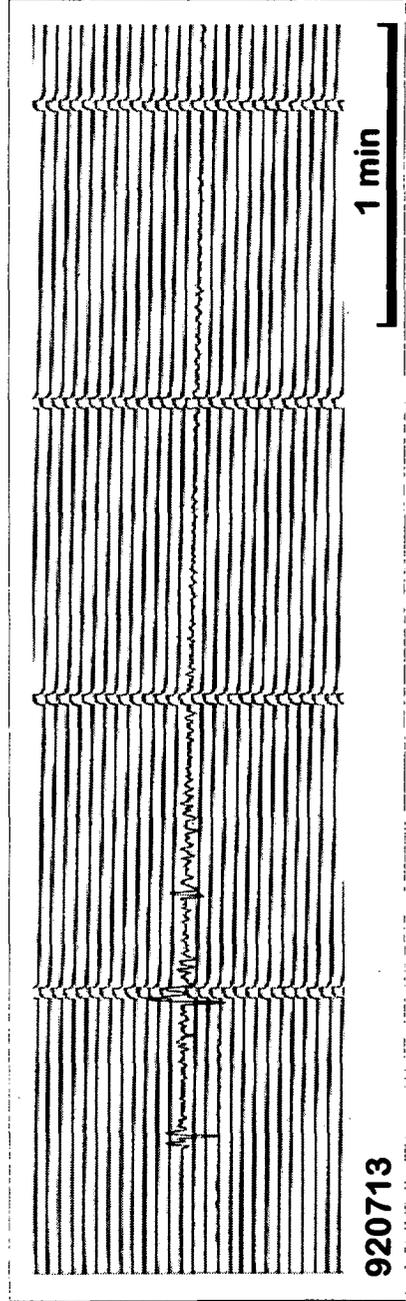
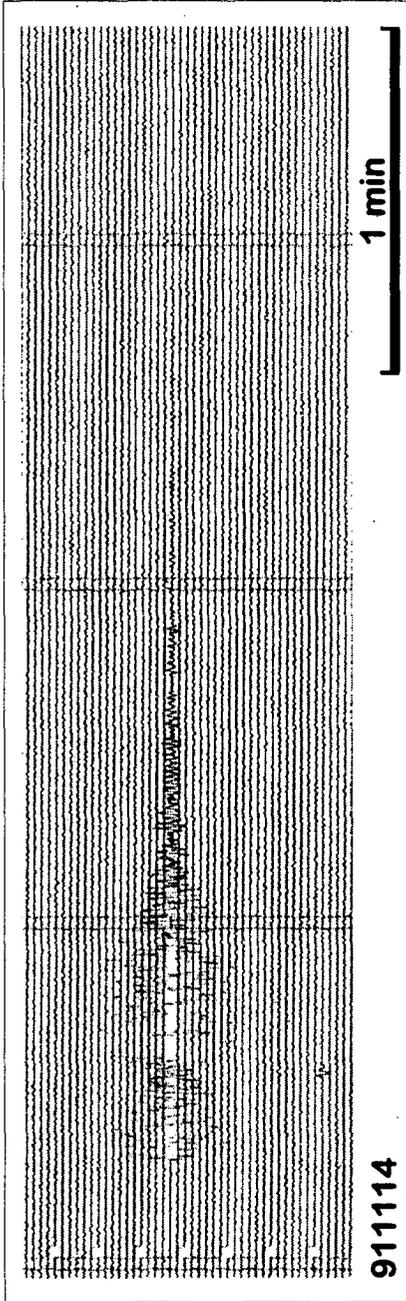
56	1994	08/19	10	02	51.8	26.642 S	63.421 W	ANTIAGO DEL ESTERO PROVINCE, ARGENTINA	564	6.4	35.717
57		09/12	06	29	54.9	31.103 S	71.706 W	NEAR COAST OF CENTRAL CHILE	40	5.9	32.247
58		10/04	13	22	55.8	43.773 N	147.321 E	EAST OF HOKKAIDO, JAPAN REGION	14	7.3	156.033
59		11/04	01	13	20.1	9.379 S	71.334 W	PERU-BRAZIL BORDER	591	5.8	53.543
60		11/05	02	16	03.3	57.193 S	157.858 E	PECFIC-ABTARCTIC RIDGE	25	6.1	57.553
61		12/07	03	37	54.8	23.422 S	66.639 W	CHILE-ARGENTINA BORDER	235	5.6	39.156
62	1995	01/03	16	11	57.0	57.699 S	65.883 W	SHACKLETON FRACTURE ZONE	14	6.2	5.774
63		01/06	18	01	12.8	56.497 S	25.319 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	33	5.2	17.840
64		01/19	15	05	03.4	5.05 N	72.916 W	COLUMBIA	17	6.3	67.961
65		02/05	22	51	05.1	37.759 S	178.752 E	OFF EAST COAST OF NORTH ISLAND	21	6.5	70.156
66		02/14	15	53	55.7	23.366 S	67.688 W	CHILE-ARGENTINA BORDER REGION	147	5.7	39.315
67		03/26	02	16	12.5	55.950 S	28.214 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	48	5.9	16.794
68		04/14	13	15	17.3	60.774 S	20.074 W	SOUTHWESTERN ATLANTIC OCEAN	11	5.5	18.344
69		05/02	06	06	05.6	3.792 S	76.917 W	NORTHERN PERU	97	6.5	59.854
70		05/16	20	12	44.2	23.008 S	169.900 E	LOYALTY ISLANDS REGION	20	6.9	86.651
71		05/23	22	10	11.8	55.945 S	3.361 W	SOUTH ATLANTIC RIDGE	10	5.4	28.358
72		06/02	19	07	22.4	31.773 S	71.296 W	NEAR COAST OF CENTRAL CHILE	70	5.4	31.523
73		06/14	11	11	47.4	12.128 N	88.360 W	OFF COAST OF CENTRAL AMERICA	25	5.7	77.646
74		06/21	15	31	51	31.801 S	71.791 W	CENTRAL CHILE	33	?	31.579
75		06/26	03	41	42.3	55.359 S	27.899 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	33	5.4	17.282

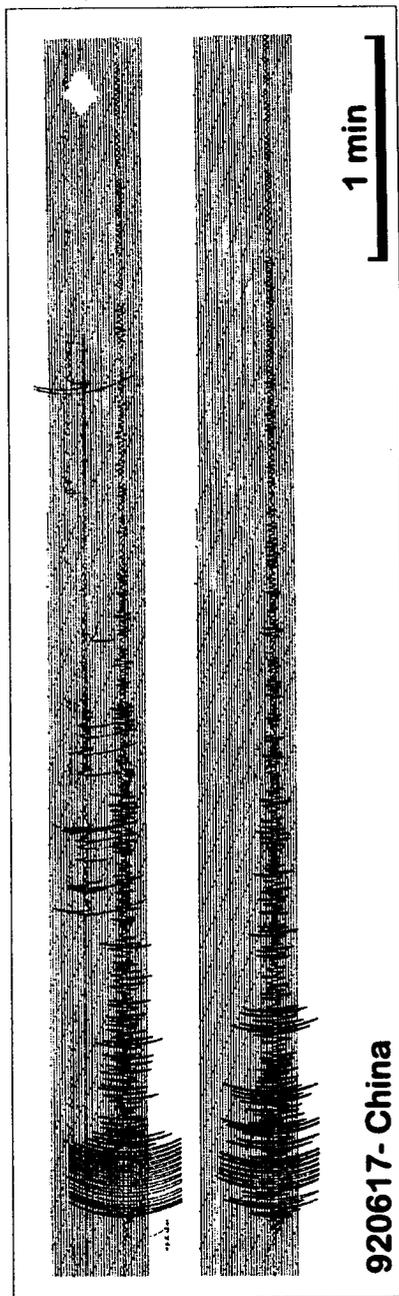
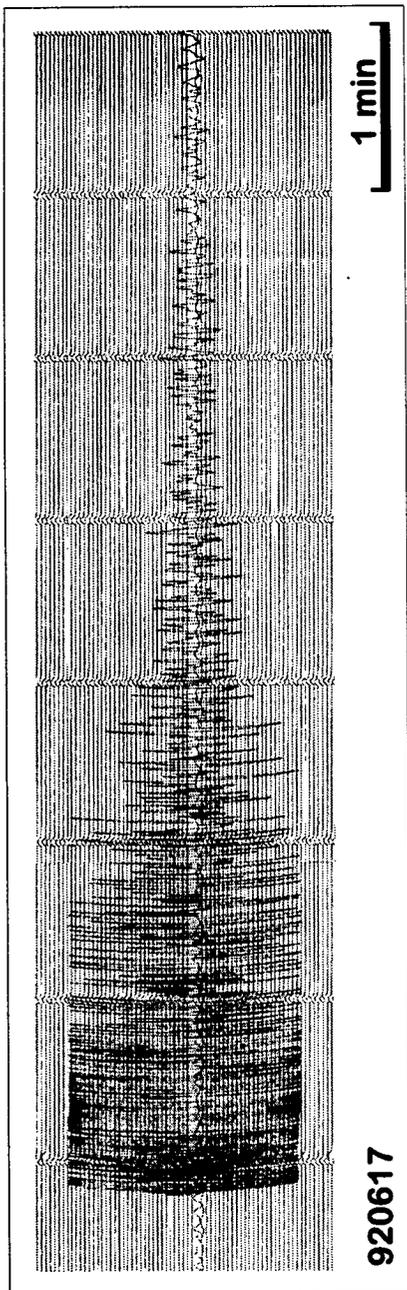
76	1995	06/29	12	39	42.9	33.746 S	70.487 W	CHILE-ARGENTINA BORDER REGION	10	?	29,461
77		07/01	23	57	44.2	55.413 S	27.654 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	33	5.0	17,363
78		07/03	19	50	50.6	29.211 S	177.589 W	KERMADEC ISLANDS	35	6.5	76,605
79		07/26	01	44	17.3	58.628 S	61.965 W	DRAKE PASSAGE	10	4.1	3,942
80		07/30	05	11	23.6	23.340 S	70.294 W	NEAR COAST OF NORTHERN CHILE	46	6.6	39,654
81		07/30	21	05	47.7	23.347 S	70.609 W	NEAR COAST OF NORTHERN CHILE	14	5.6	39,690
82		08/03	01	57	19.9	23.062 S	70.588 W	NEAR COAST OF NORTHERN CHILE	17	5.4	39,967
83		08/18	02	16	25.9	55.934 S	28.832 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	42	5.7	16,517
84		08/19	21	43	31.9	5.139 N	75.577 W	COLOMBIA	120	6.2	68,406
85		10/03	01	51	23.9	2.750 S	77.881 W	PERU-ECUADOR BORDER REGION	24	6.5	61,039
86		10/09	14	36	24.0	6.802 N	72.968 W	COLOMBIA	163	4.5	69,696
87		11/01	00	35	32.7	28.906 S	71.417 W	NEAR COAST OF CENTRAL CHILE	20	6.3	34,350
88		11/01	08	51	19.1	60.573 S	52.458 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	47	4.5	3,465
89		11/21	15	56	28.7	62.142 S	55.845 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	33	4.7	1,380
90	1996	02/10	12	17	05	60.918 S	57.493 W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	10	4.7	1,453
91		04/16	00	30	54.6	24.061 S	177.036 W	SOUTH OF FIJI ISLANDS	111	6.4	81
92		04/19	00	19	31.1	23.944 S	70.093 W	NORTHERN CHILE	50	6.0	39,032
93		05/30	03	04	37.6	56.720 S	26.311 W	SOUTH SANDWICH ISLANDS REGION	84	5.7	17,257
94		06/10	04	03	35.4	51.564 N	177.632 W	ANDREANNOF ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS	33	6.6	141
95		06/17	11	22	18.5	7.137 S	122.589 E	FLORES SEA	587	6.6	110.8

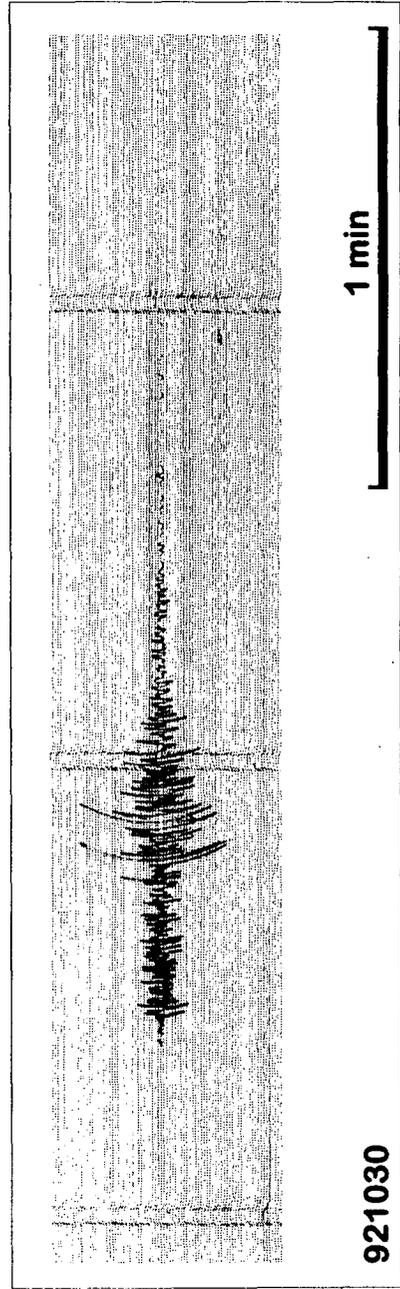
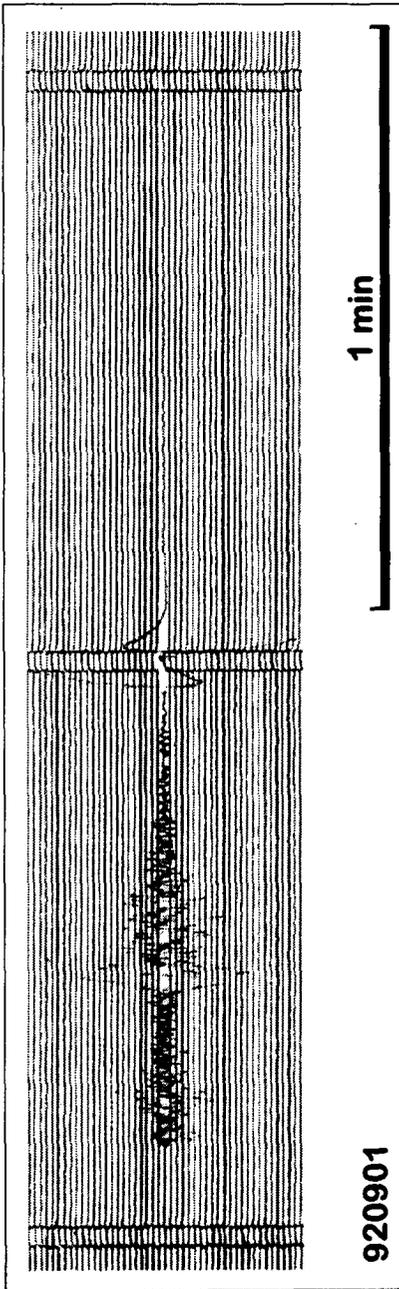
96	1996	07/07	07	53	53.5	62,023	S	56,336	W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	33	4.3	1,168
97		07/07	15	12	11.1	62,503	S	55,500	W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	10	4.2	1.5
98		07/09	04	17	46.1	62,482	S	55,528	W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	10	4.3	1,539
99		07/19	13	33	37.4	61,998	S	56,432	W	SOUTH SHETLAND ISLANDS REGION	10	4.1	1,129
100		11/12	16	59	44.0	14,993	S	75,675	W	PERU	33	6.5	48,680

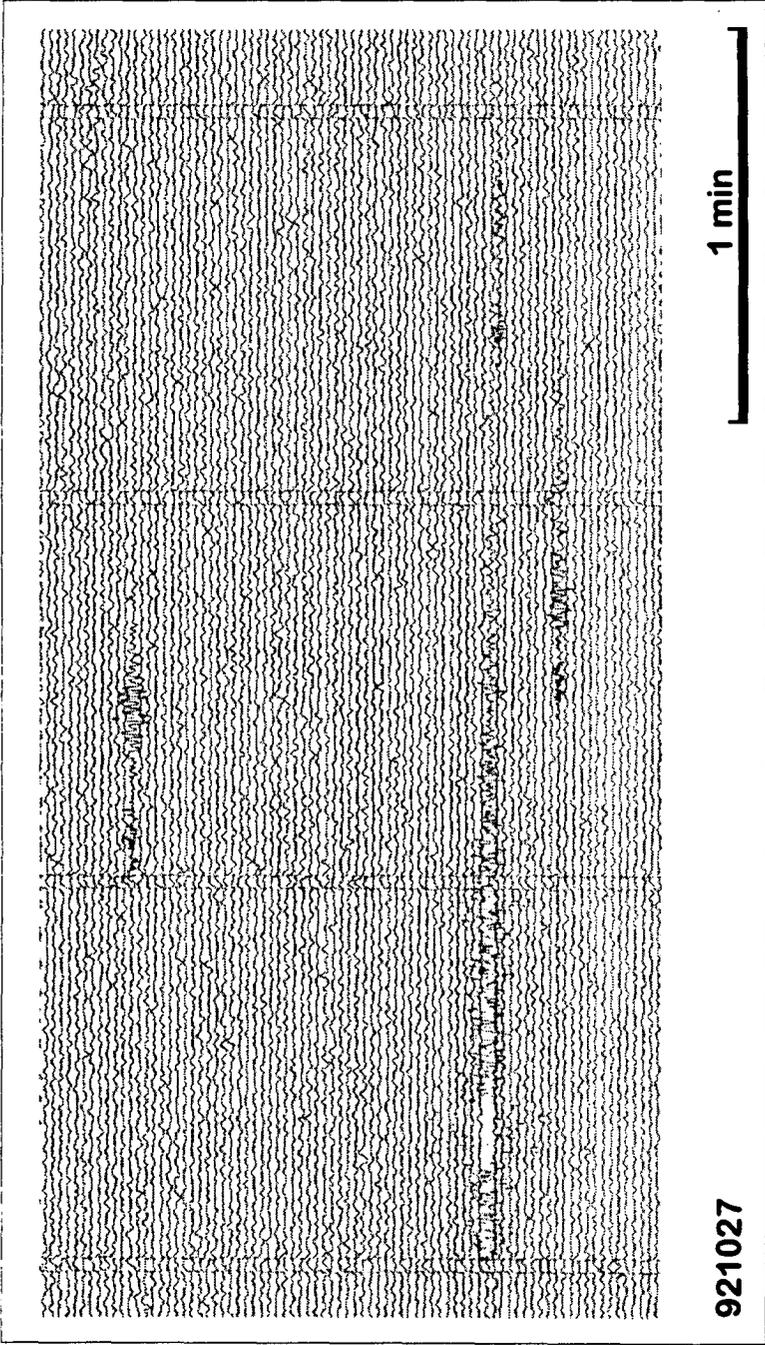
APPENDIX III

ANALOG EARTHQUAKE DATA

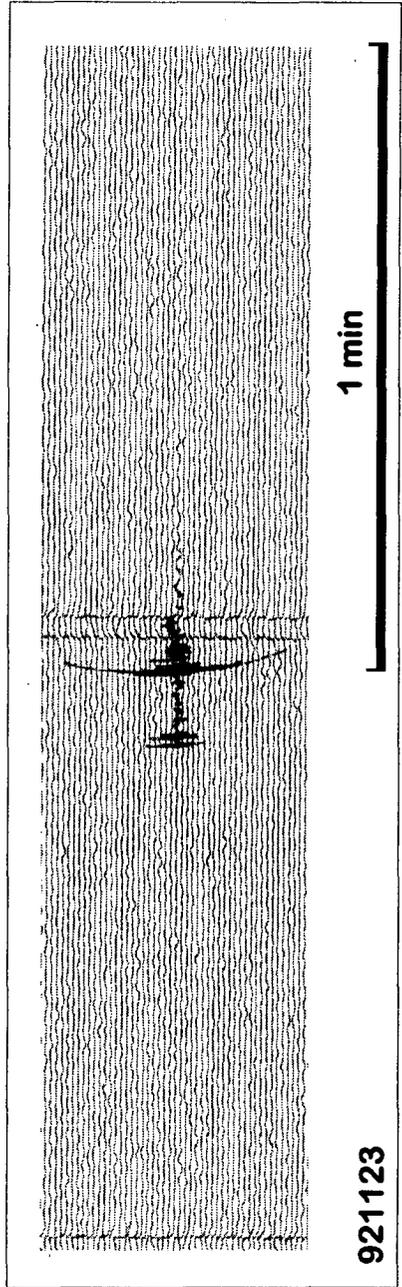
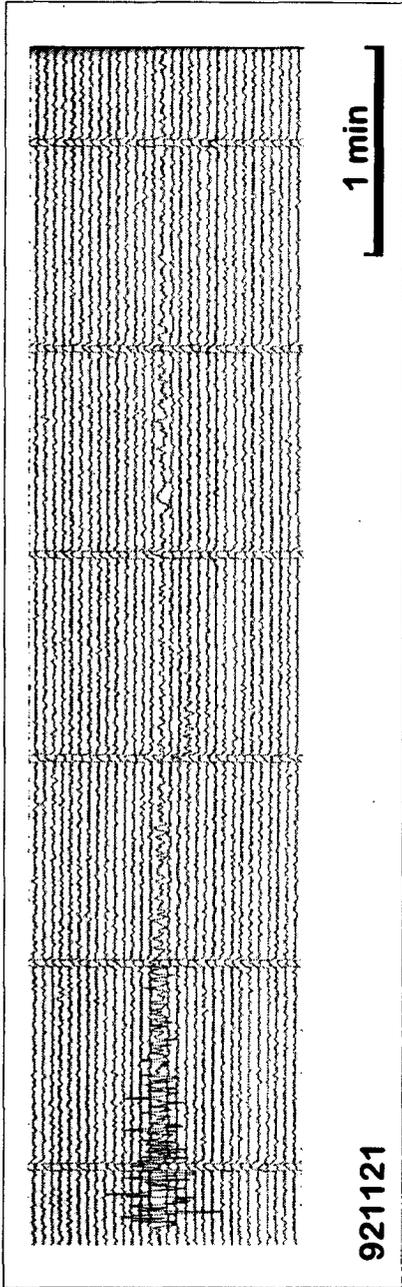


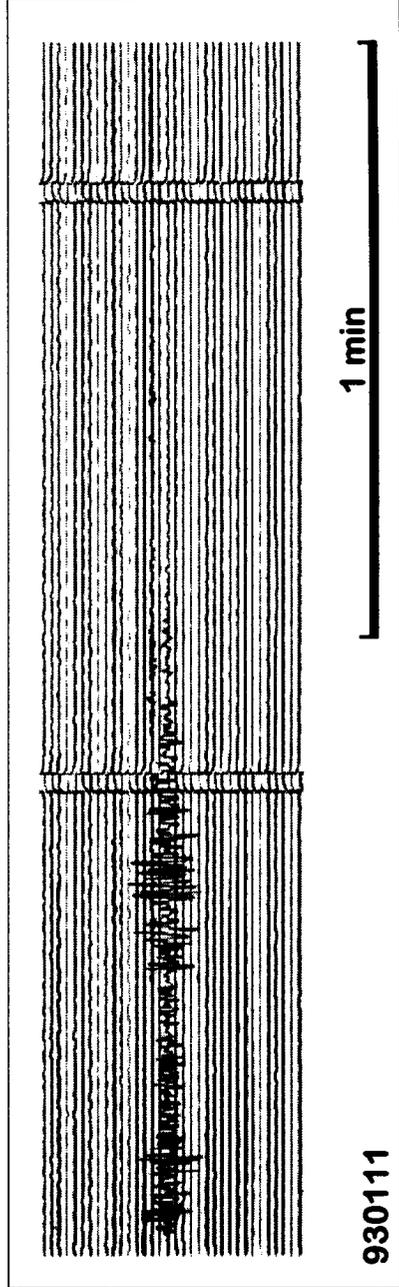
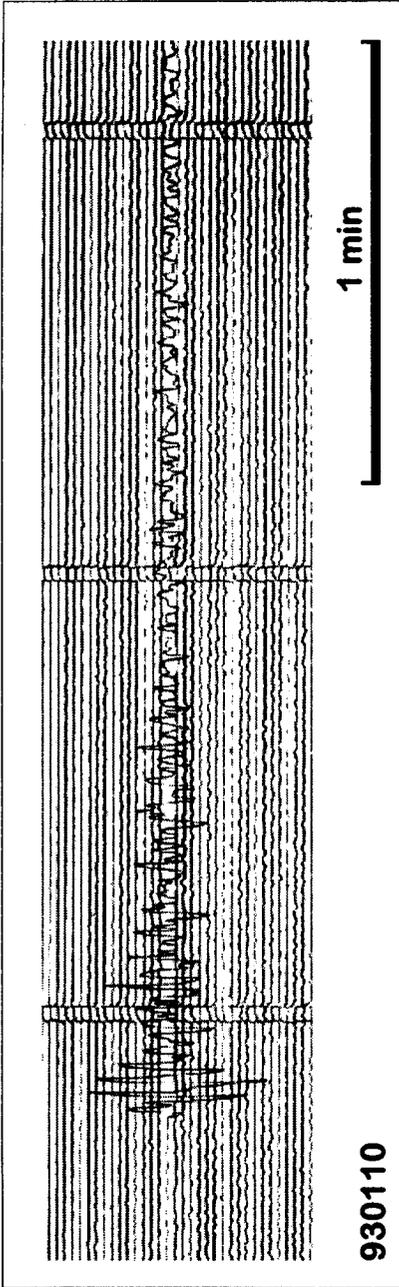


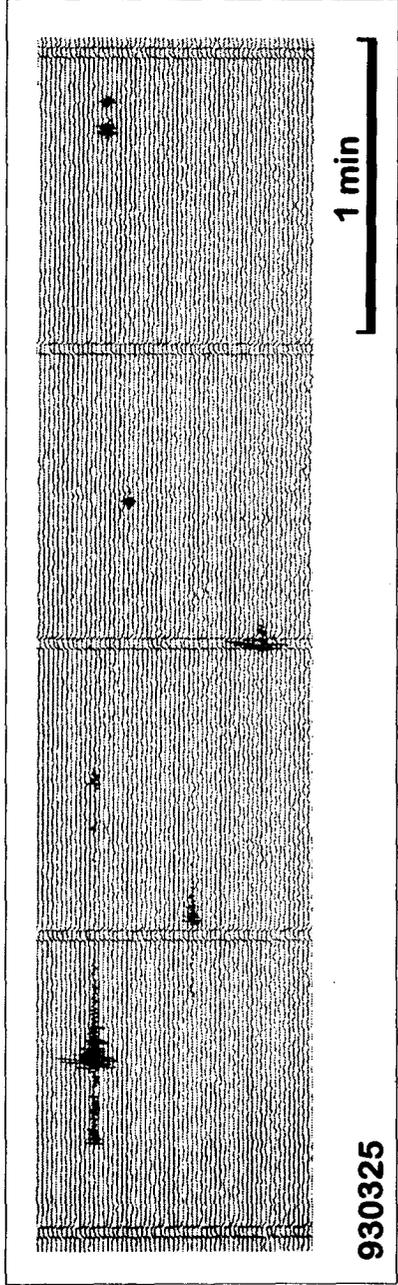
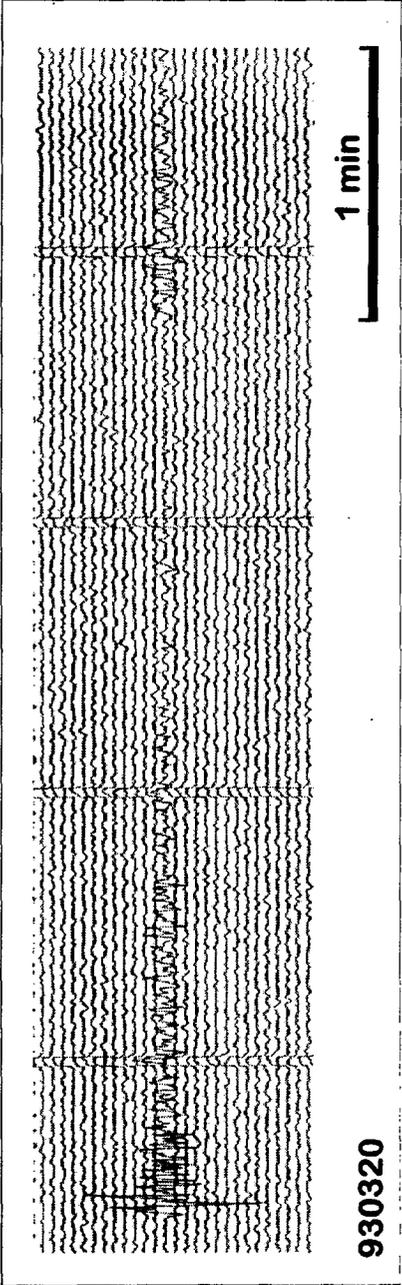


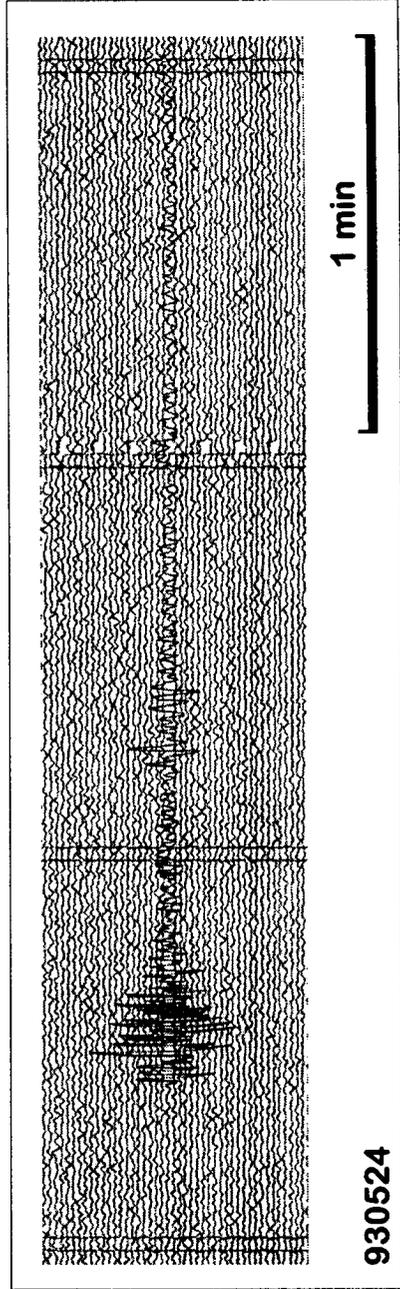
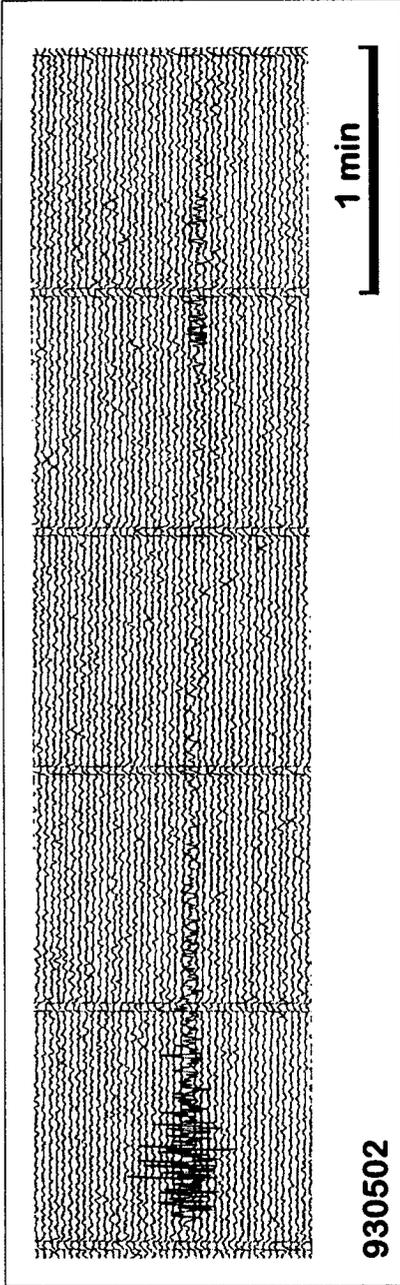


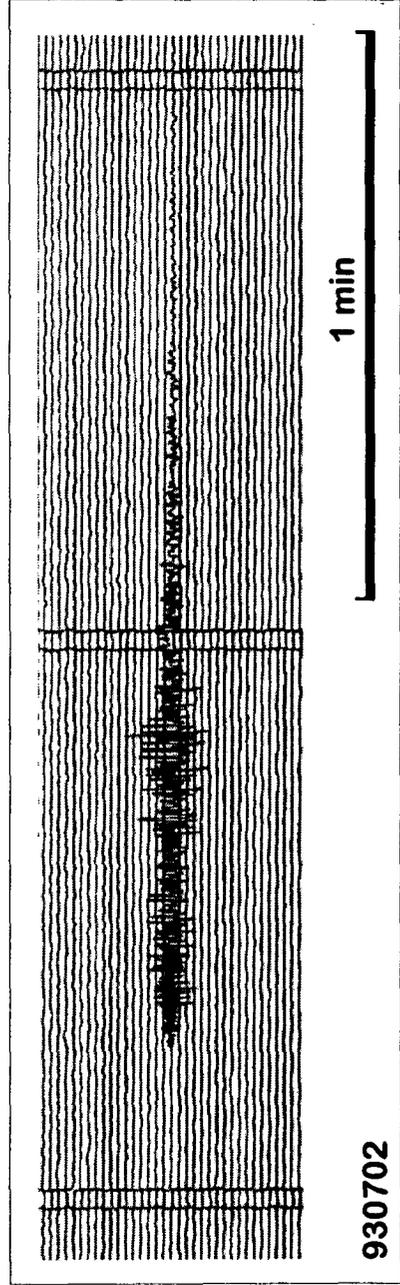
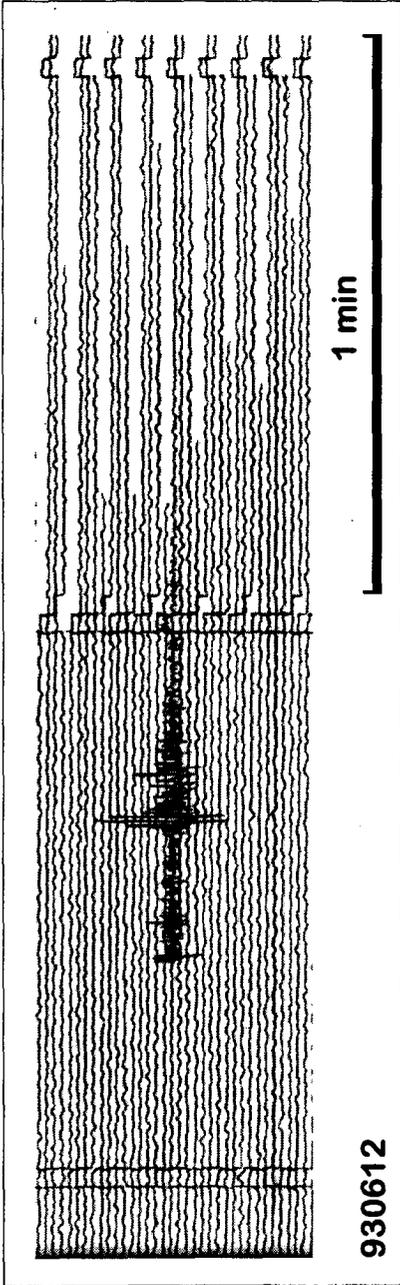
921027

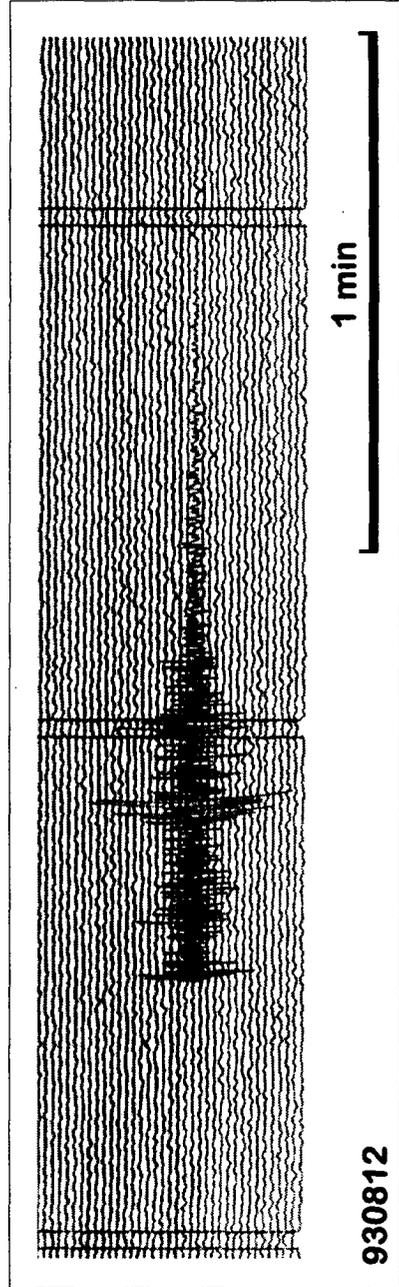
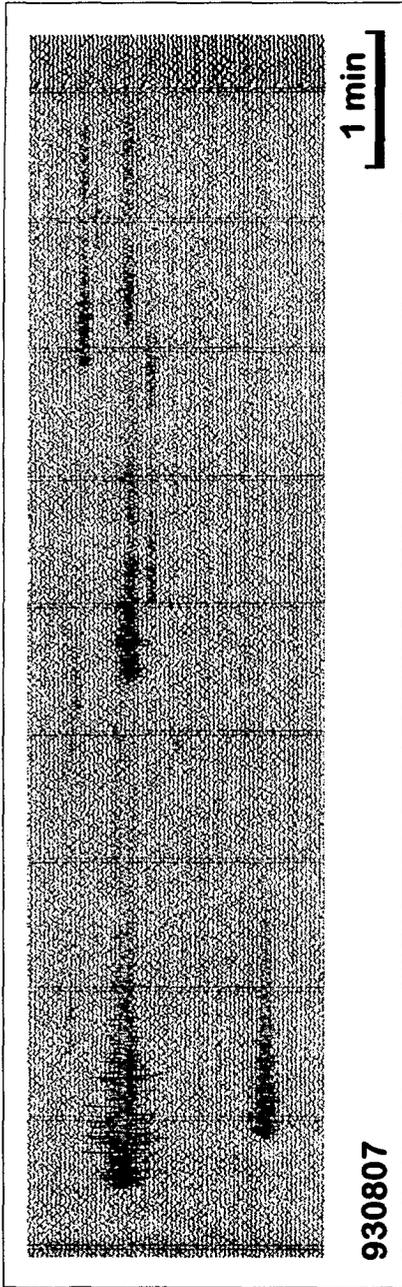


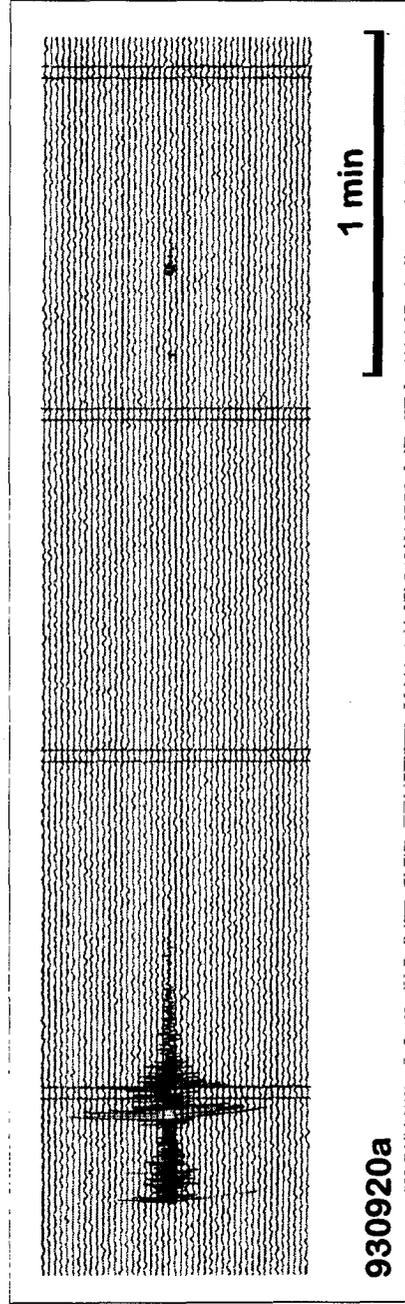
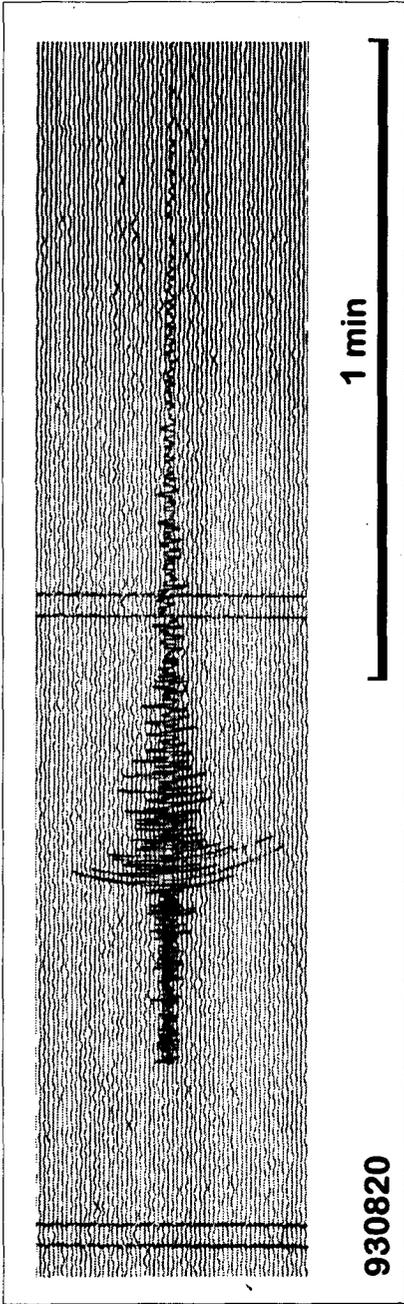


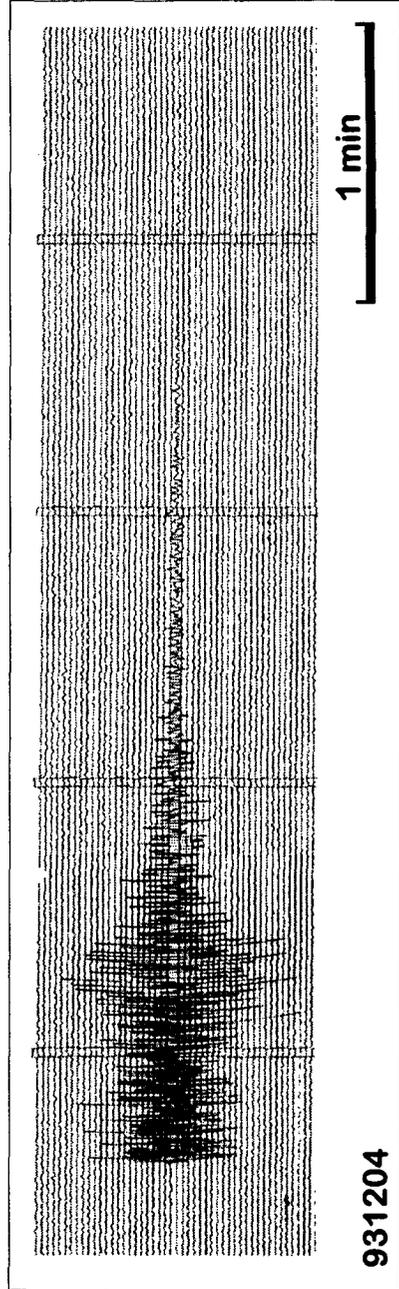
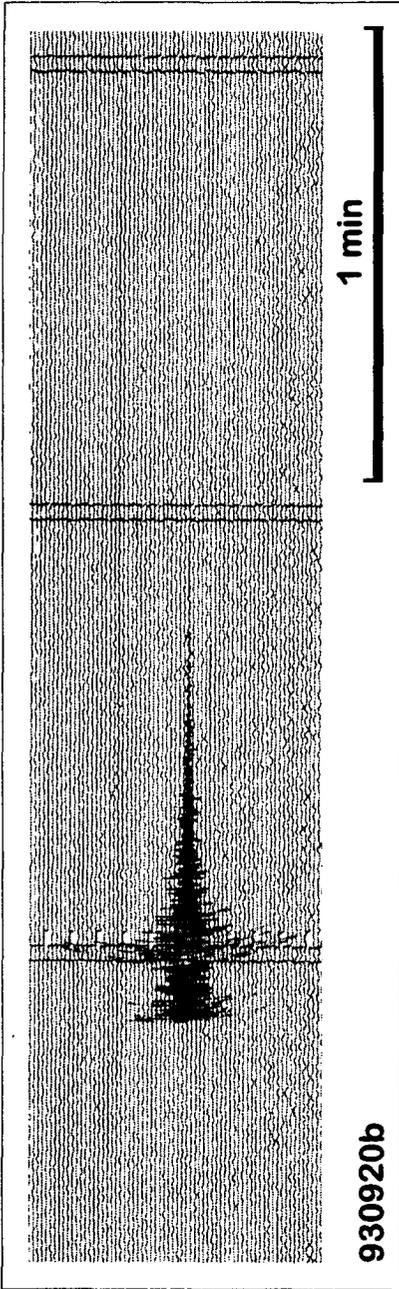


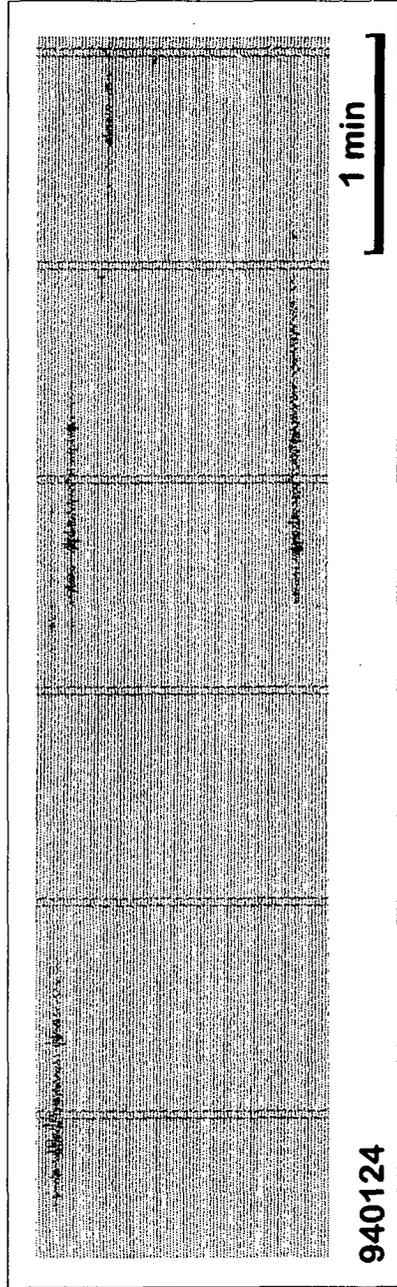
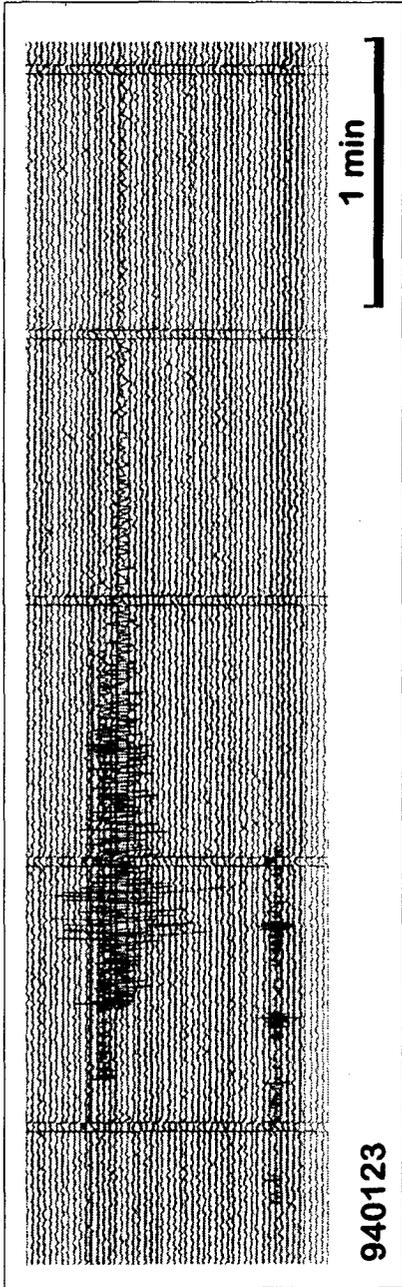


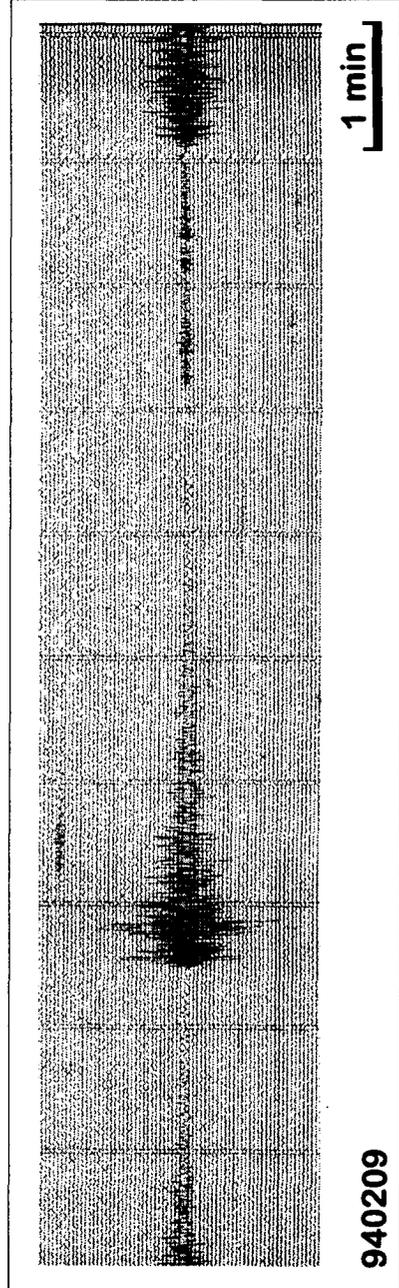
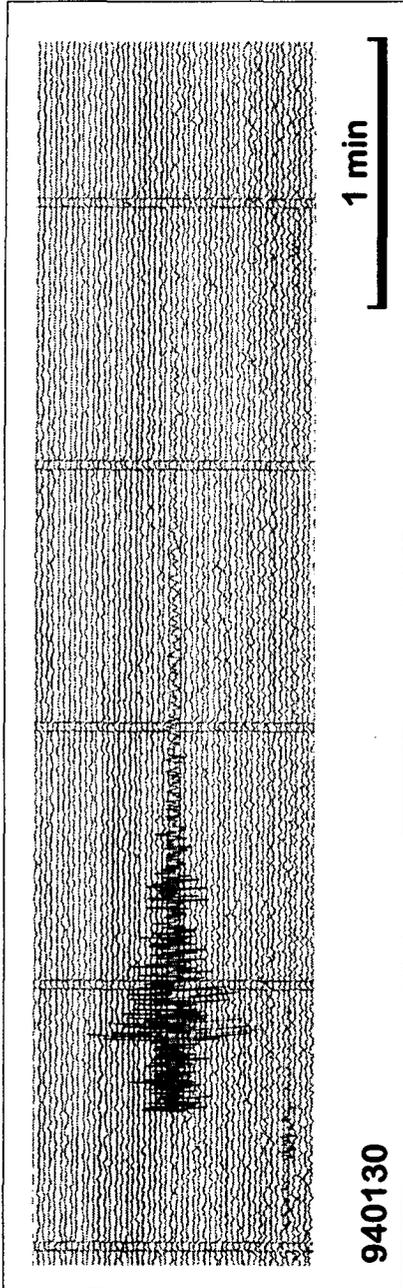


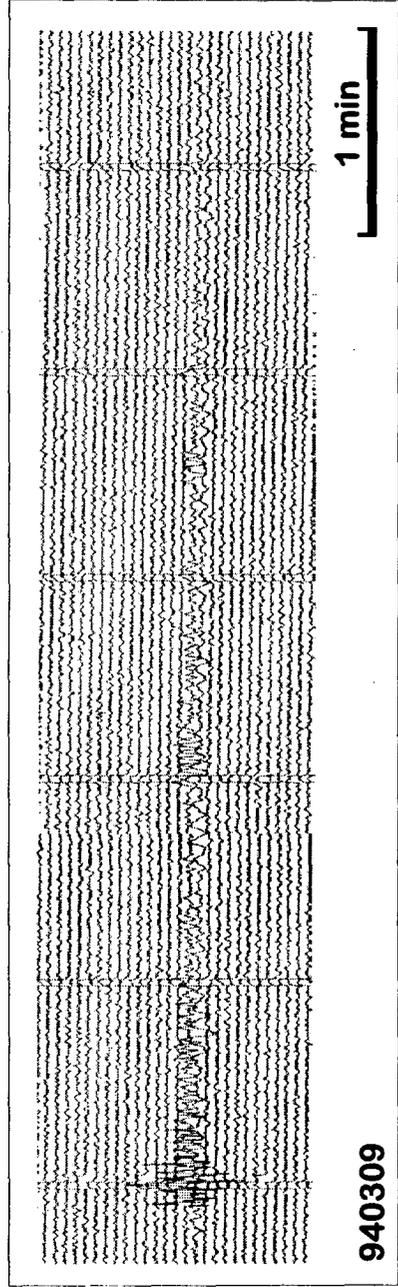
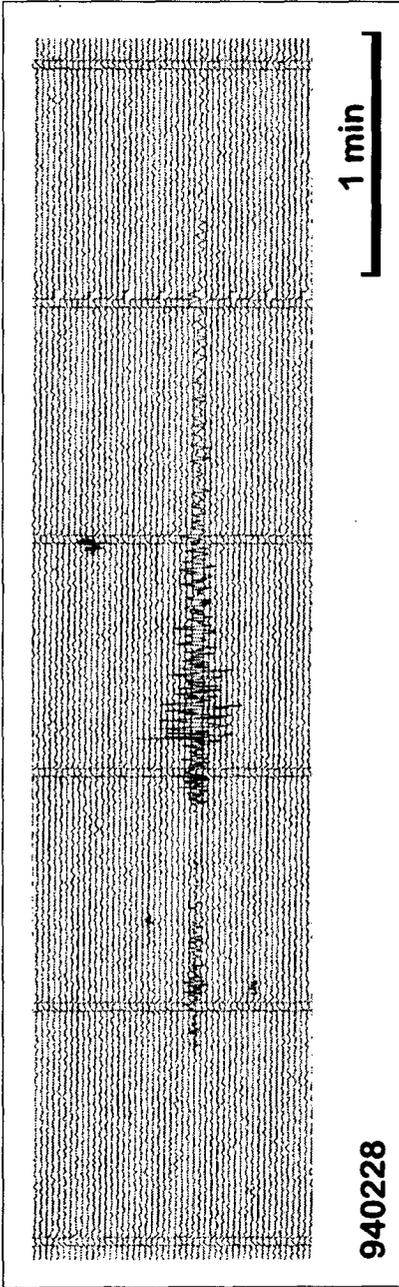


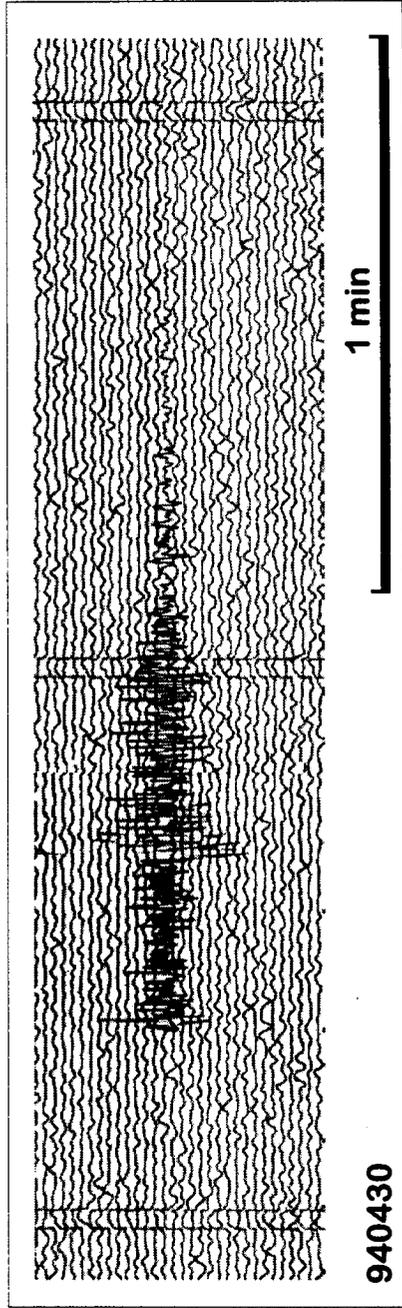
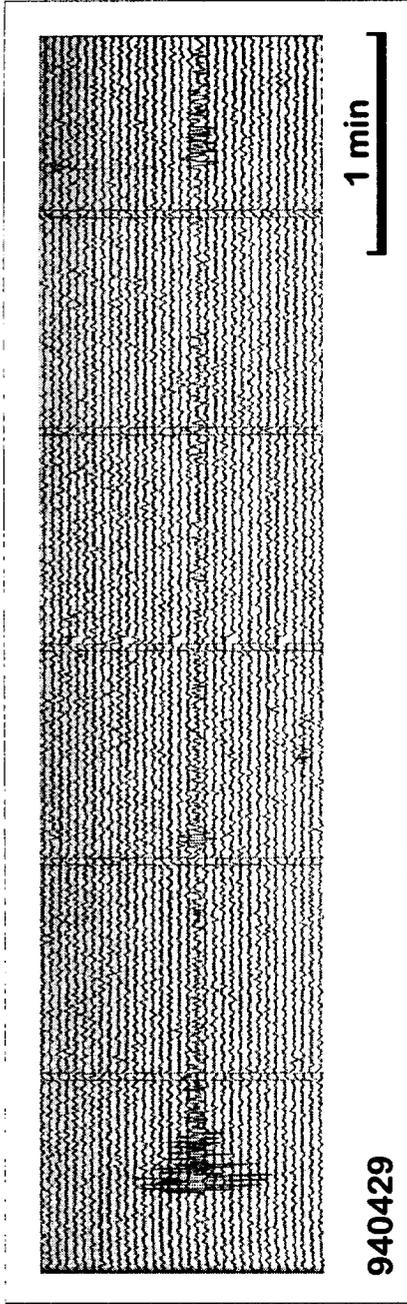


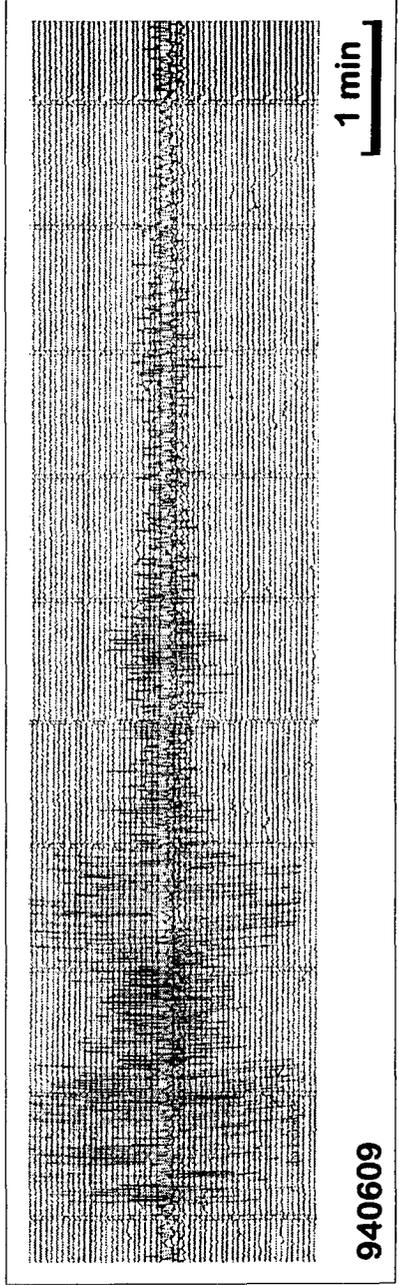
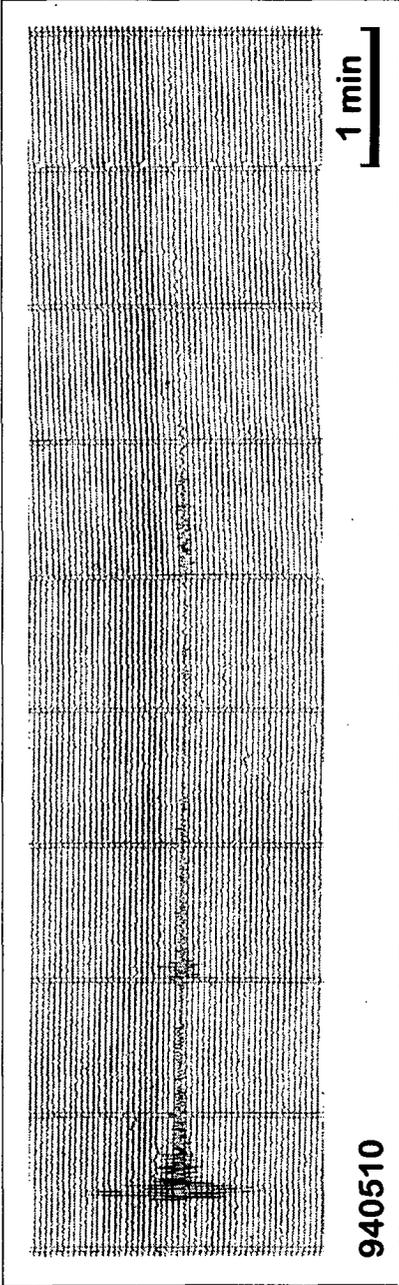


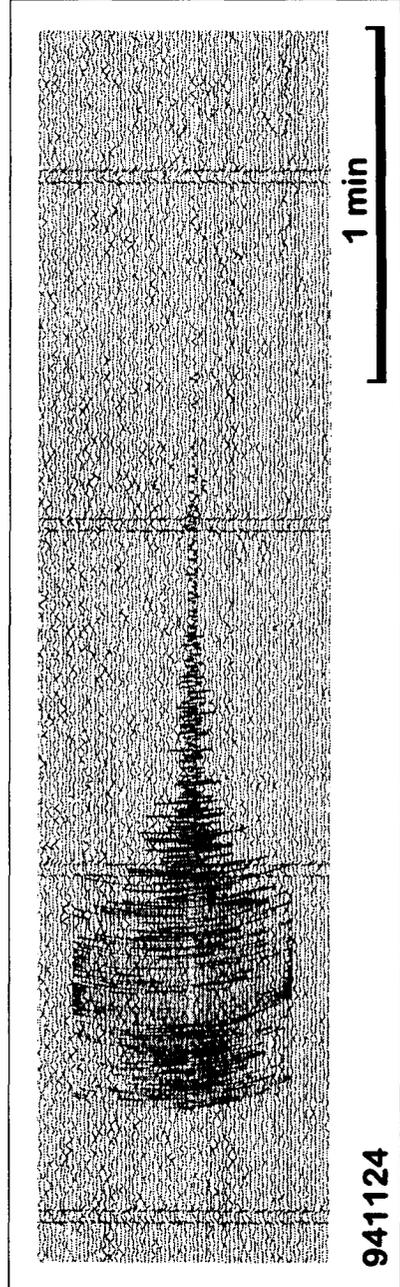
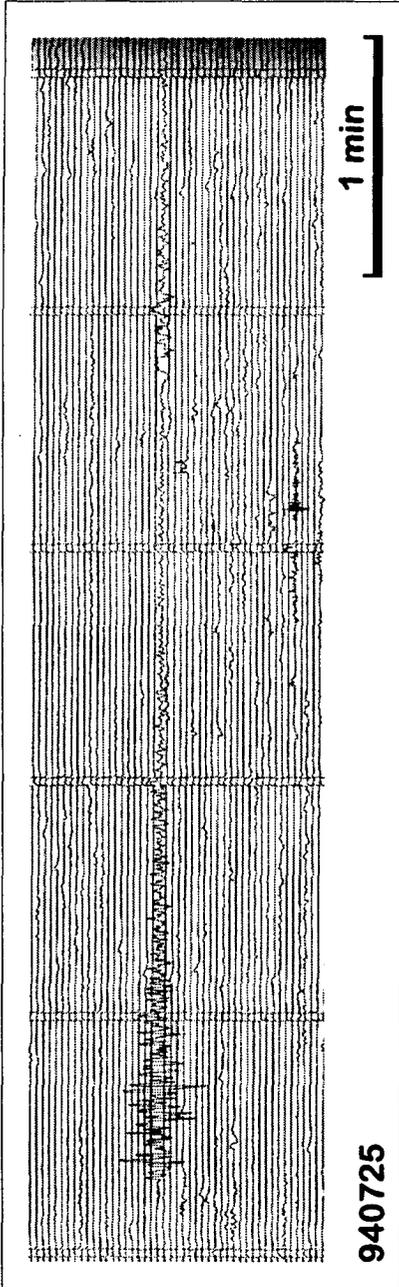


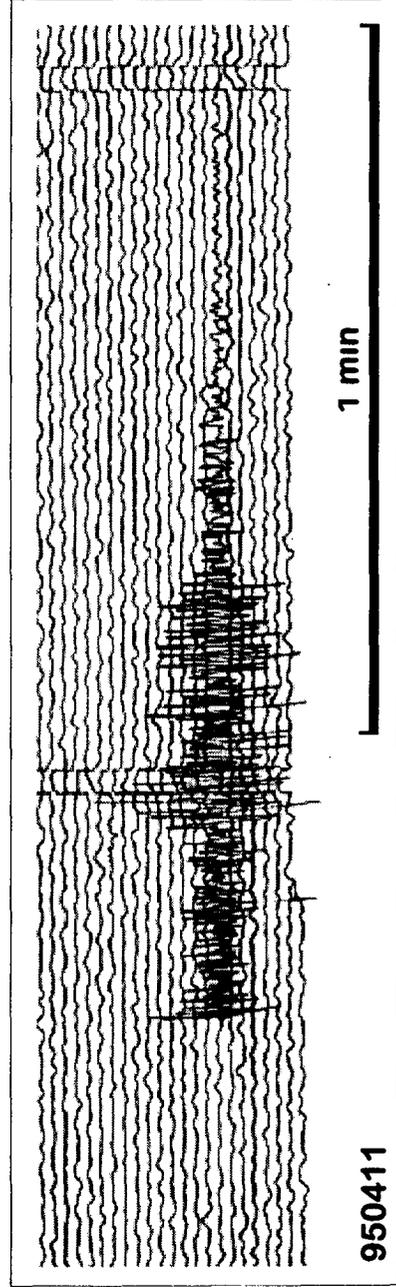
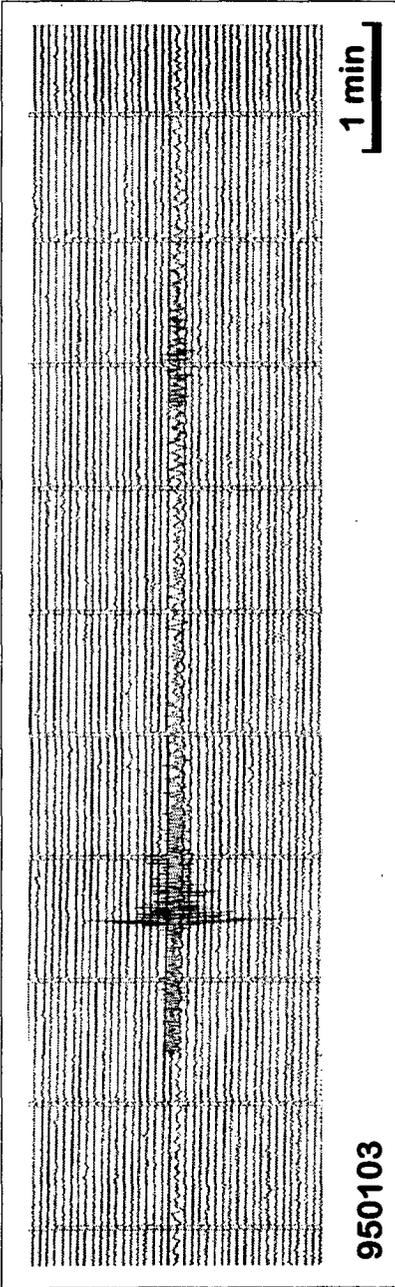


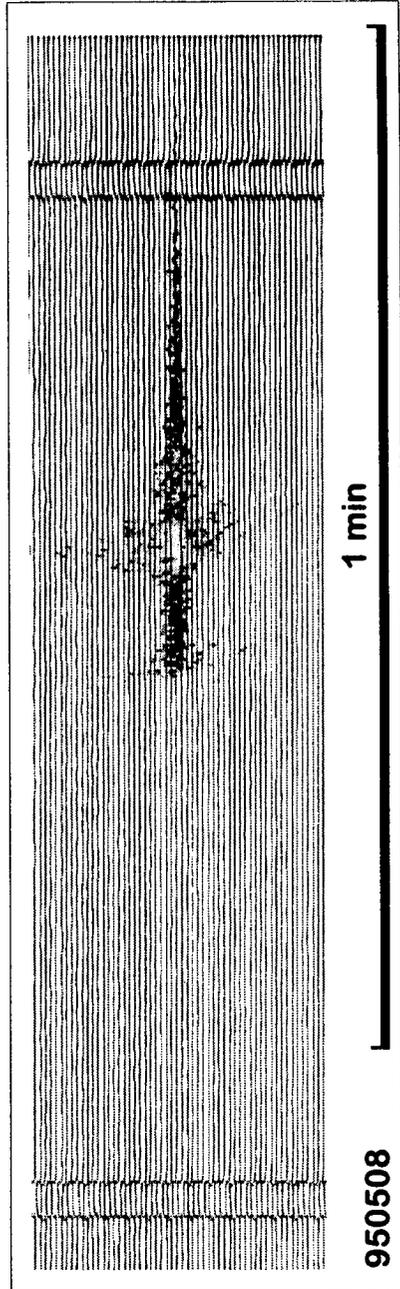
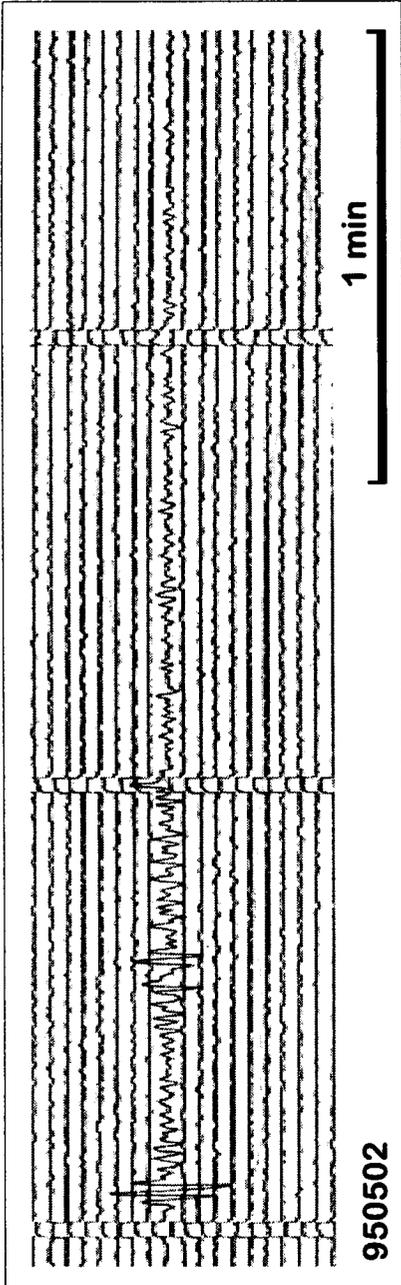


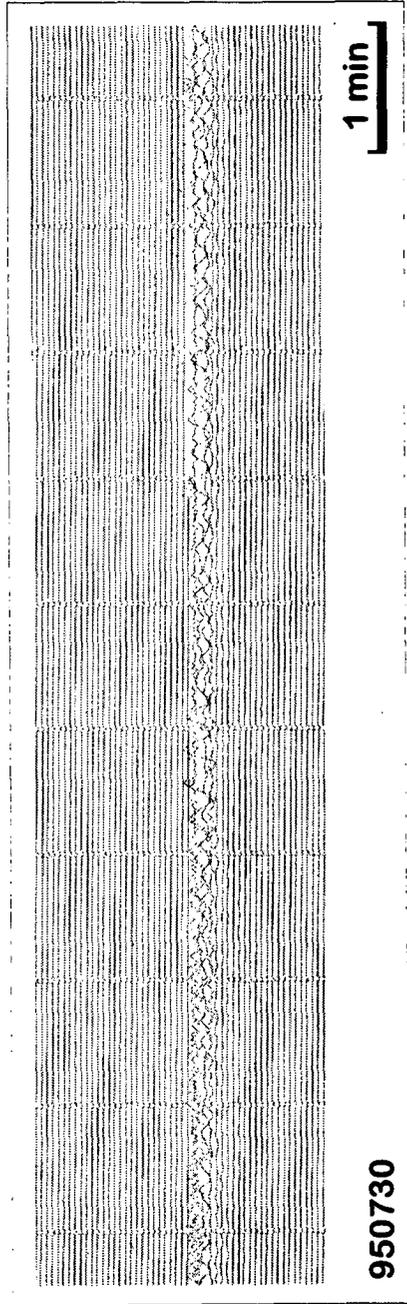
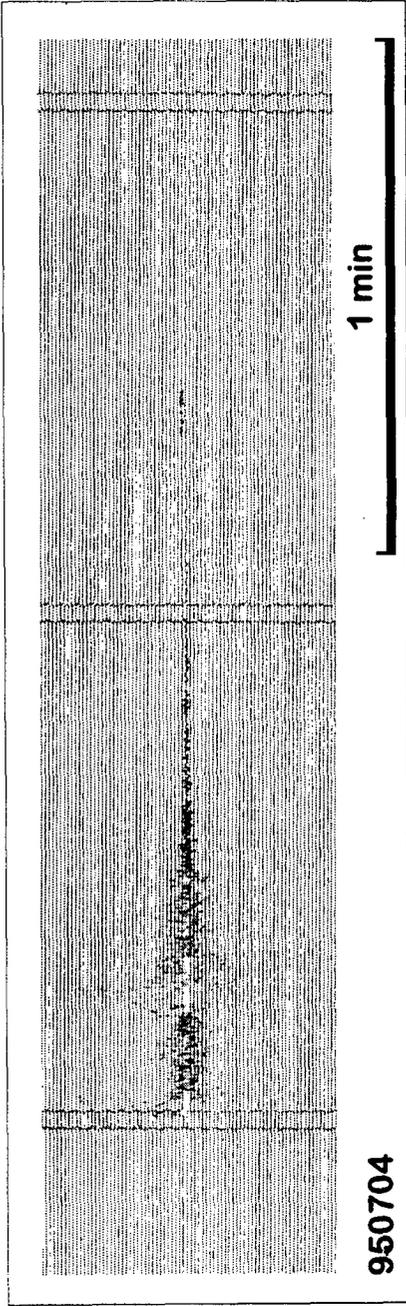


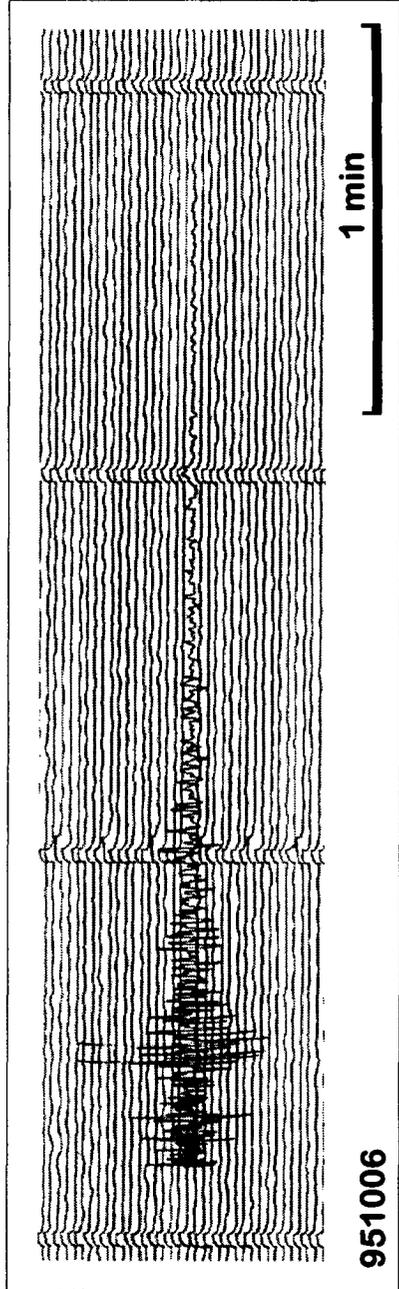
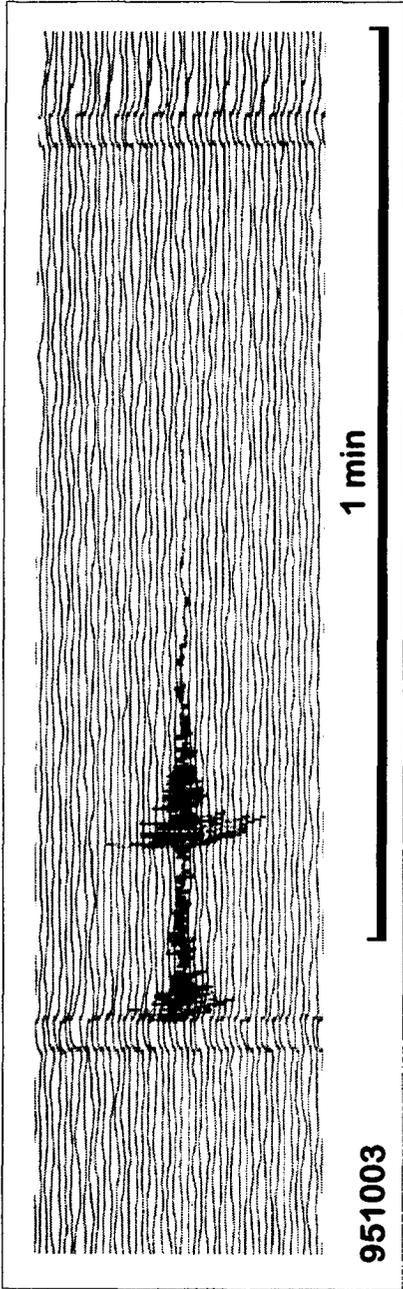


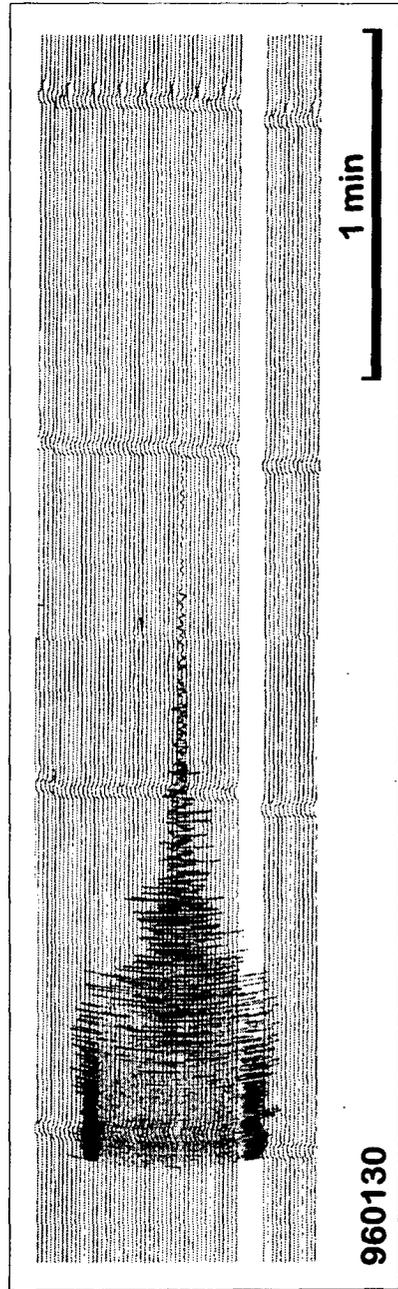
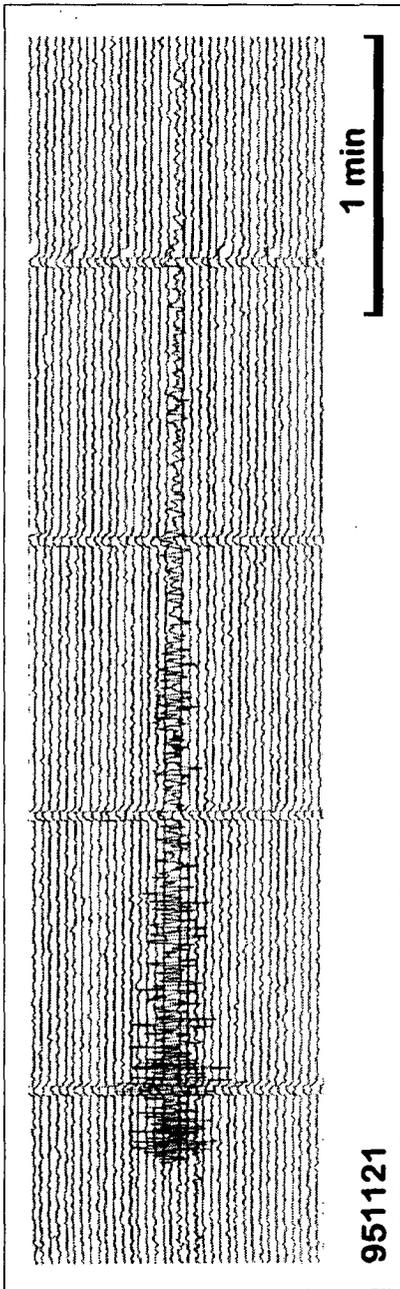


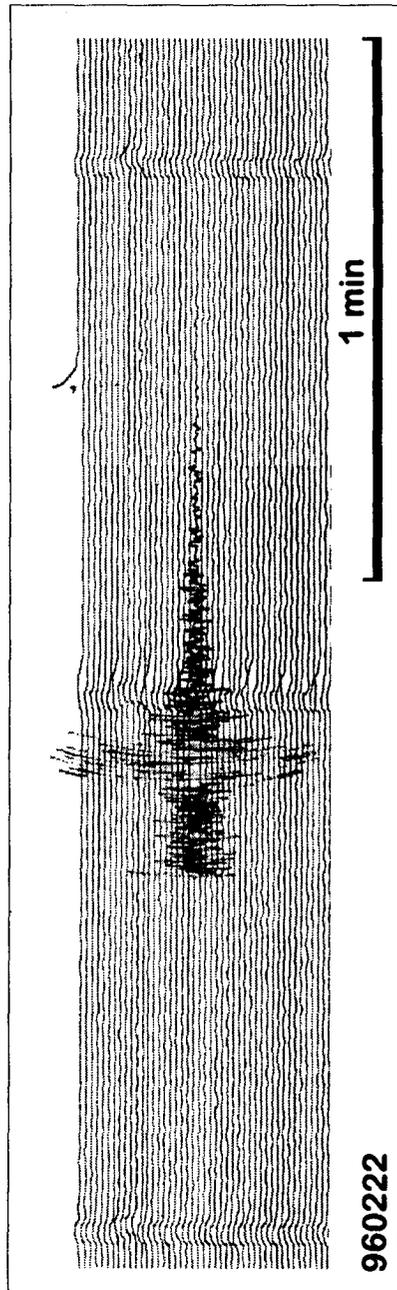
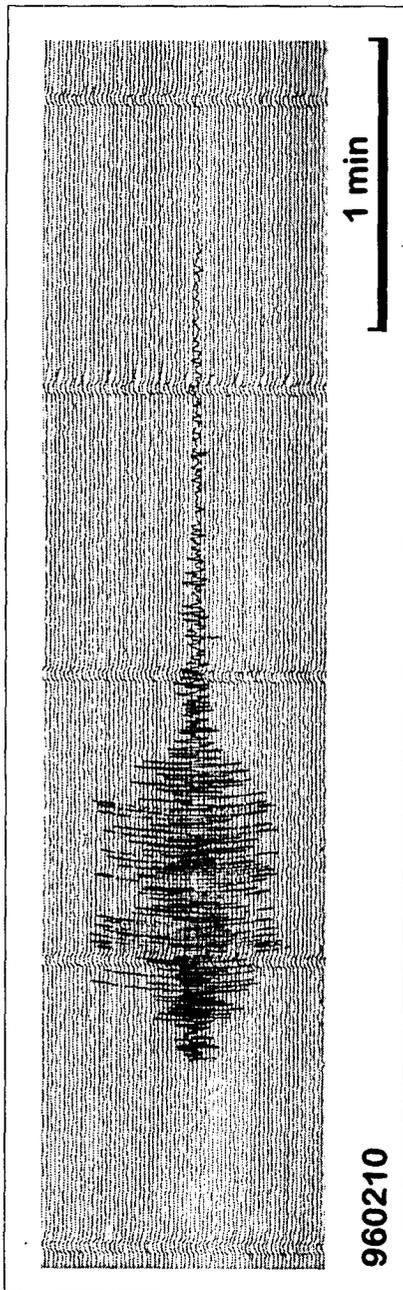


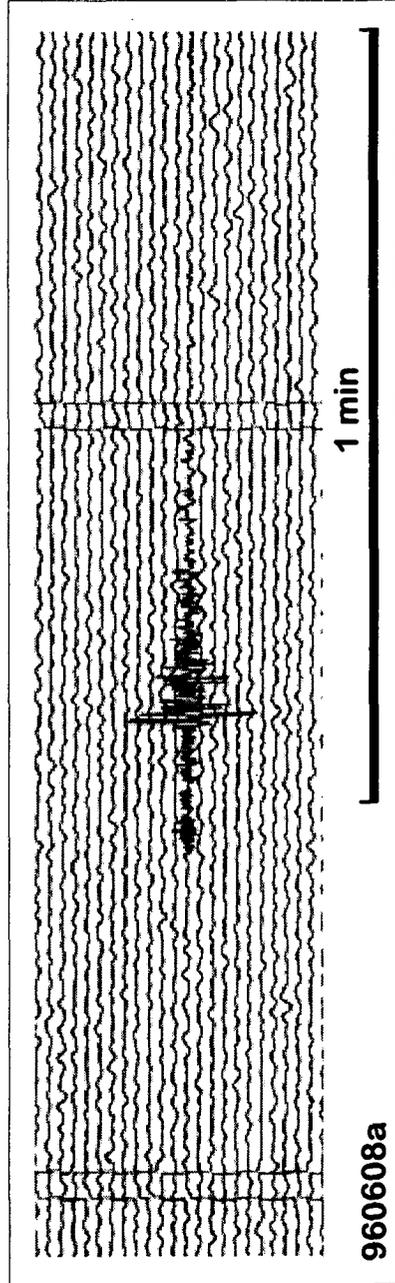
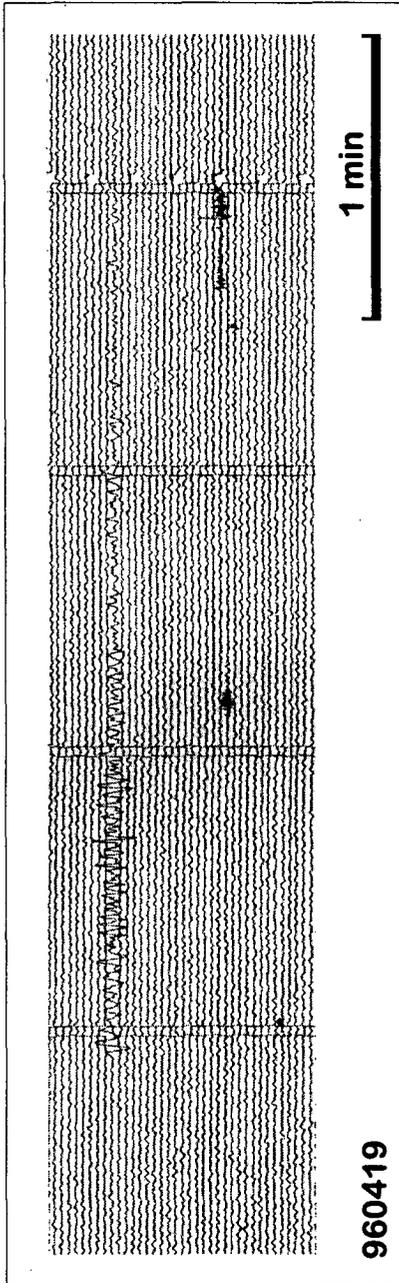


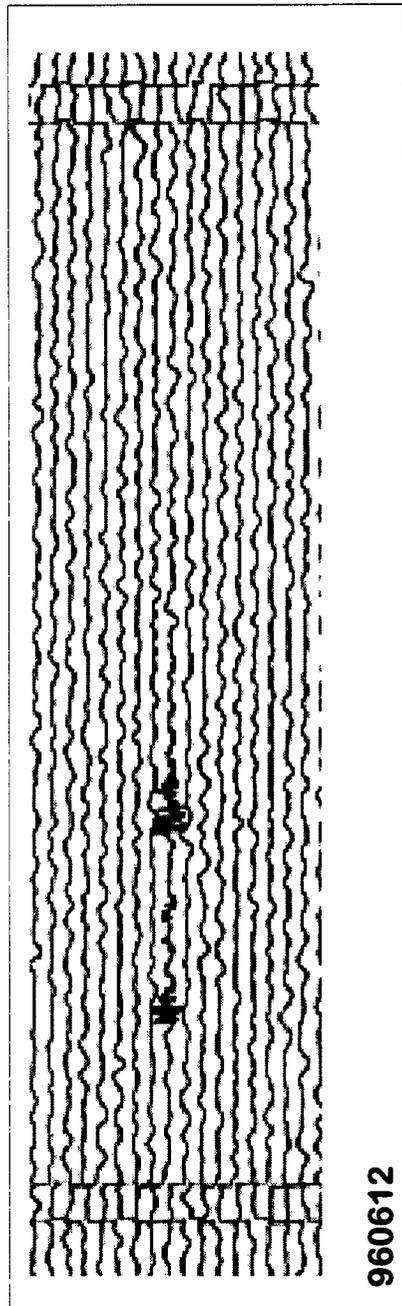
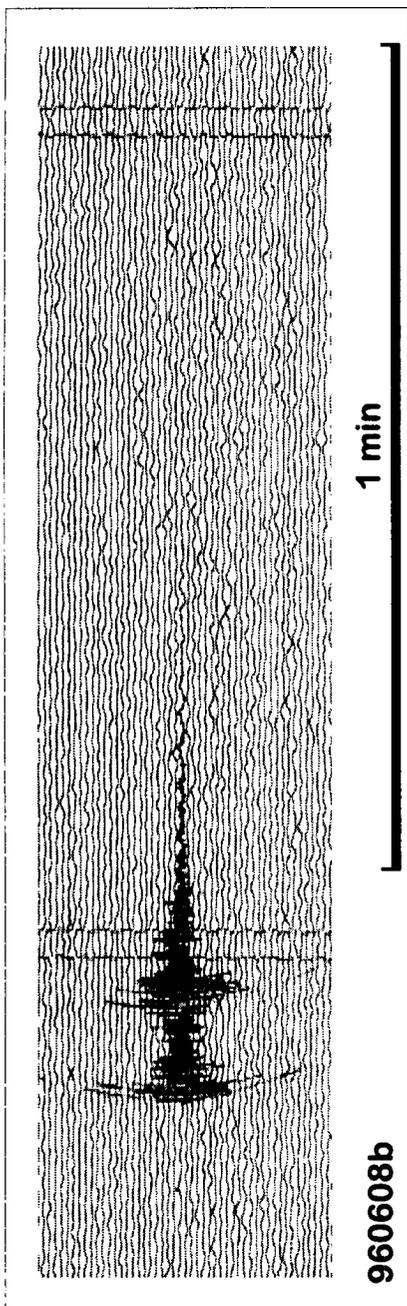


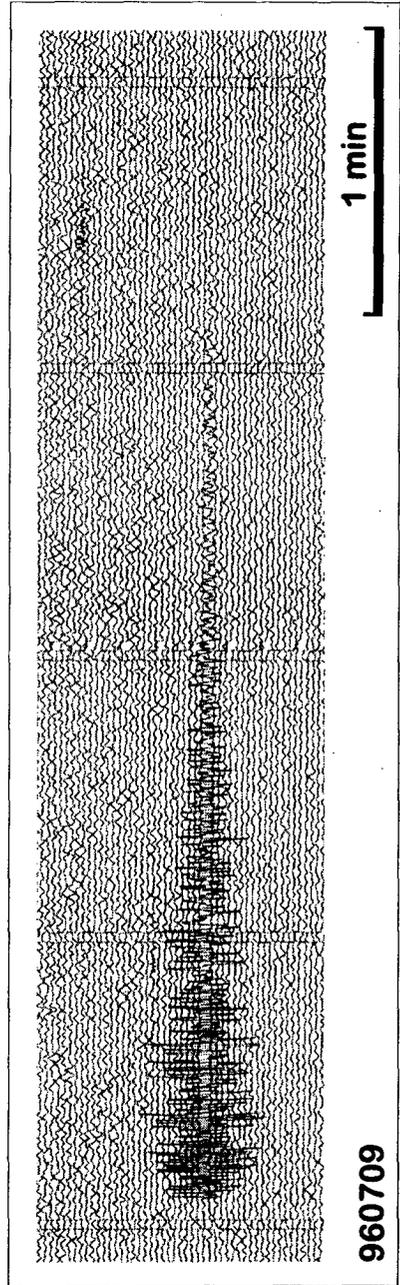
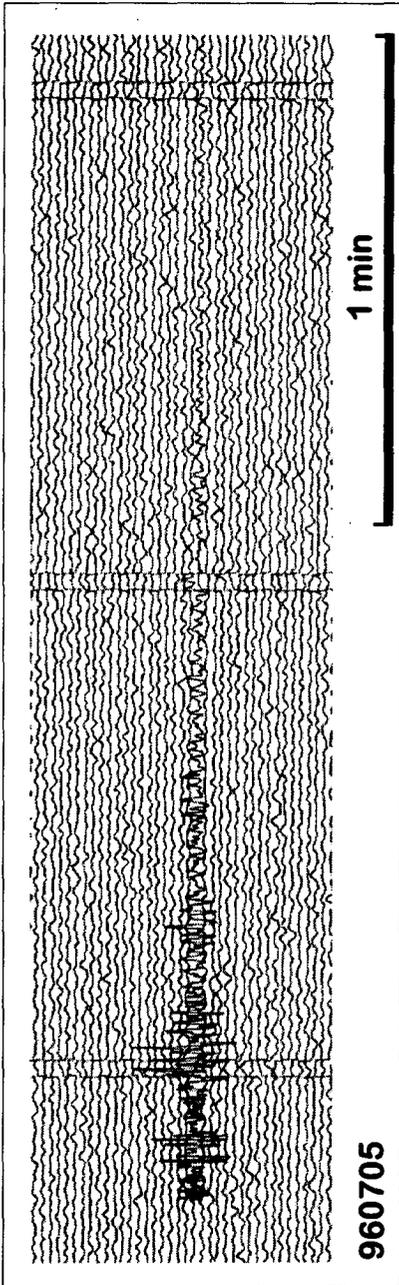


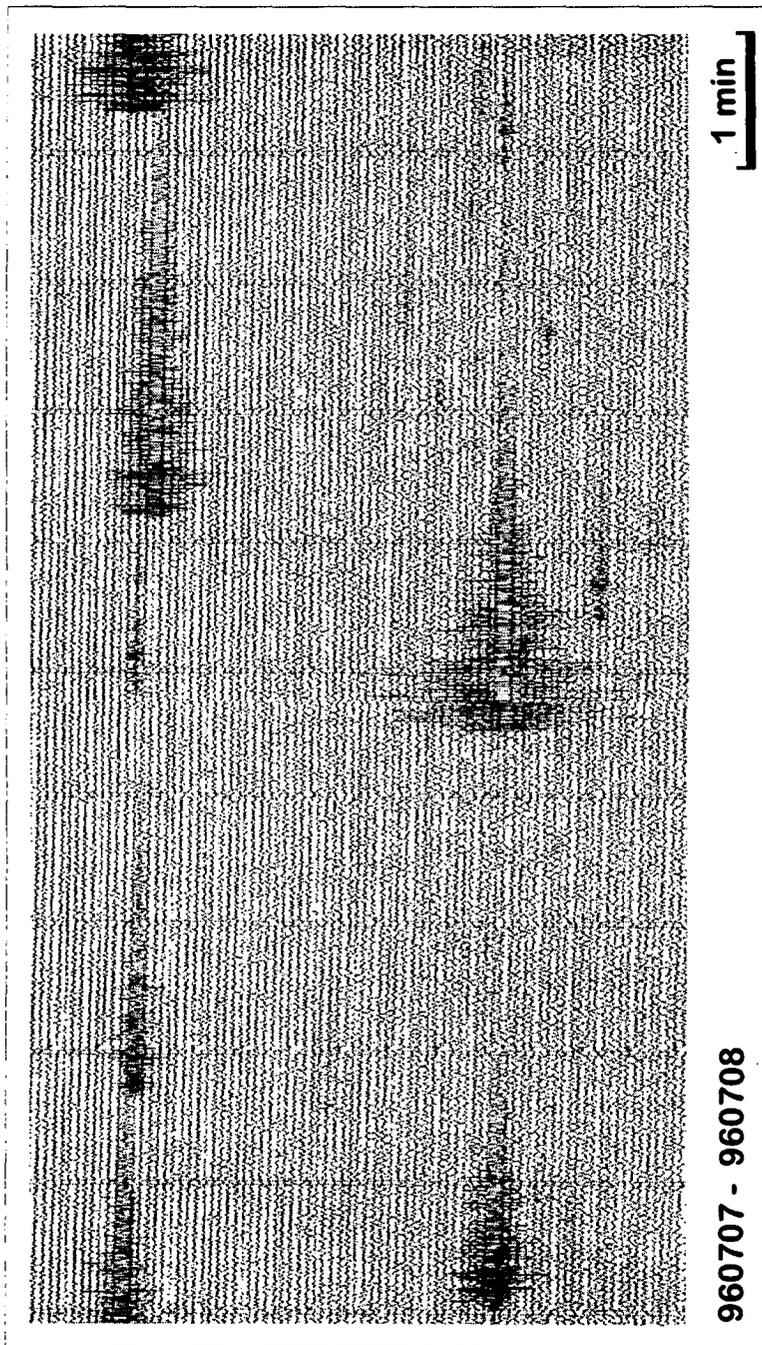


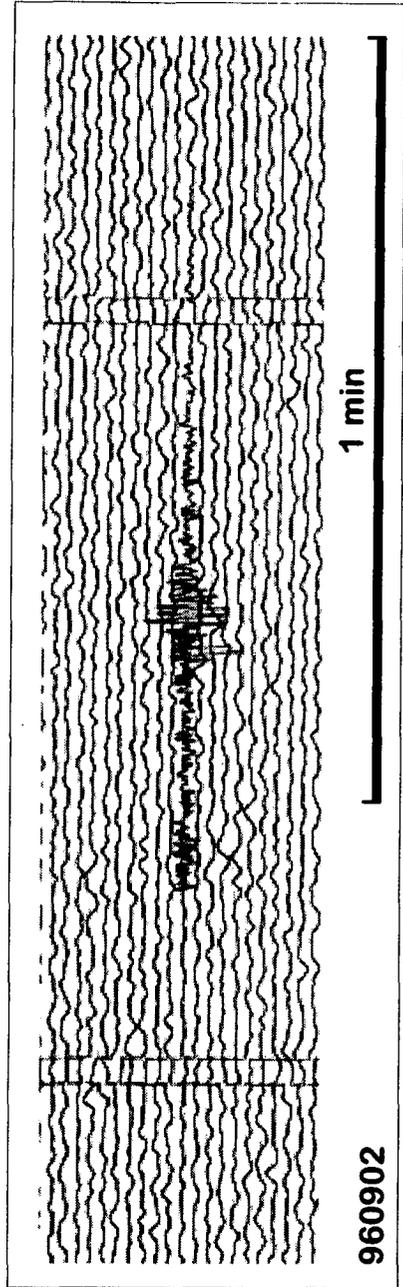
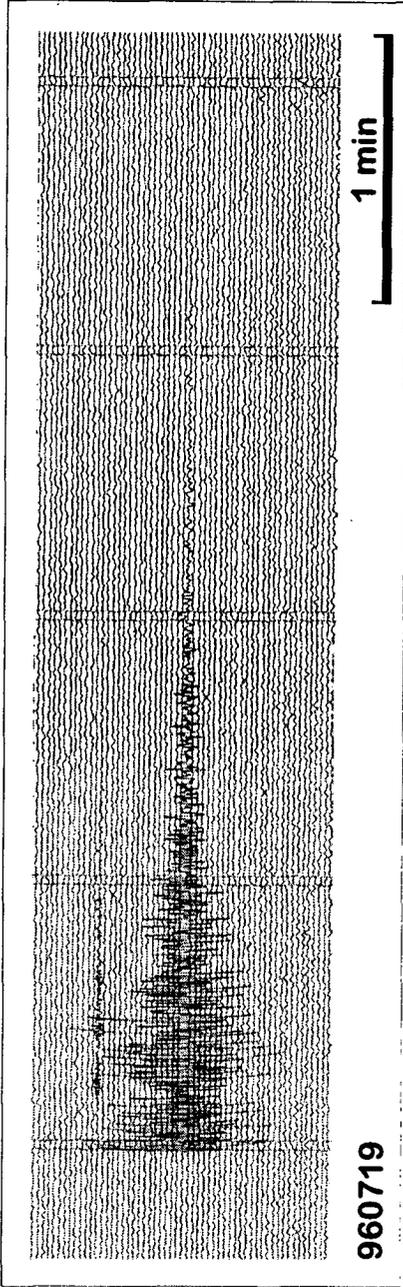


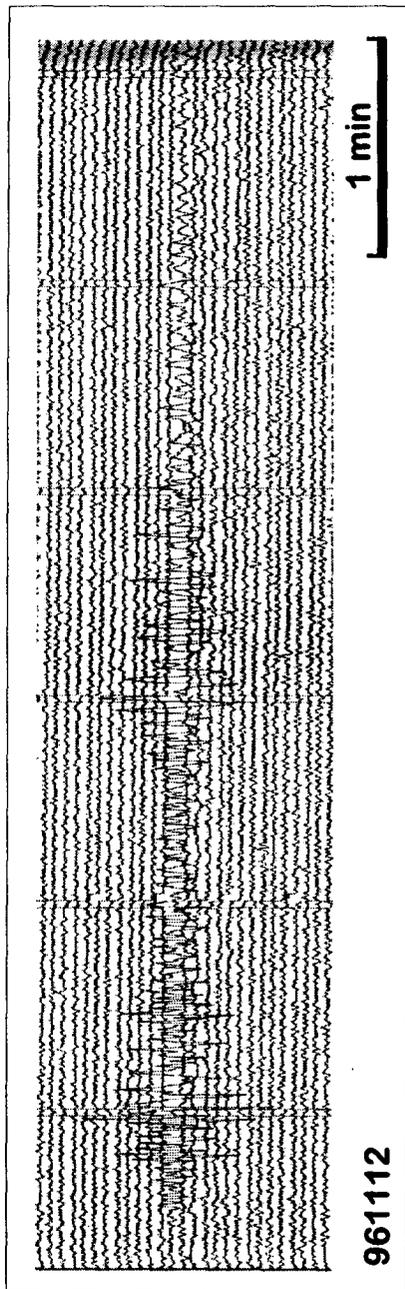






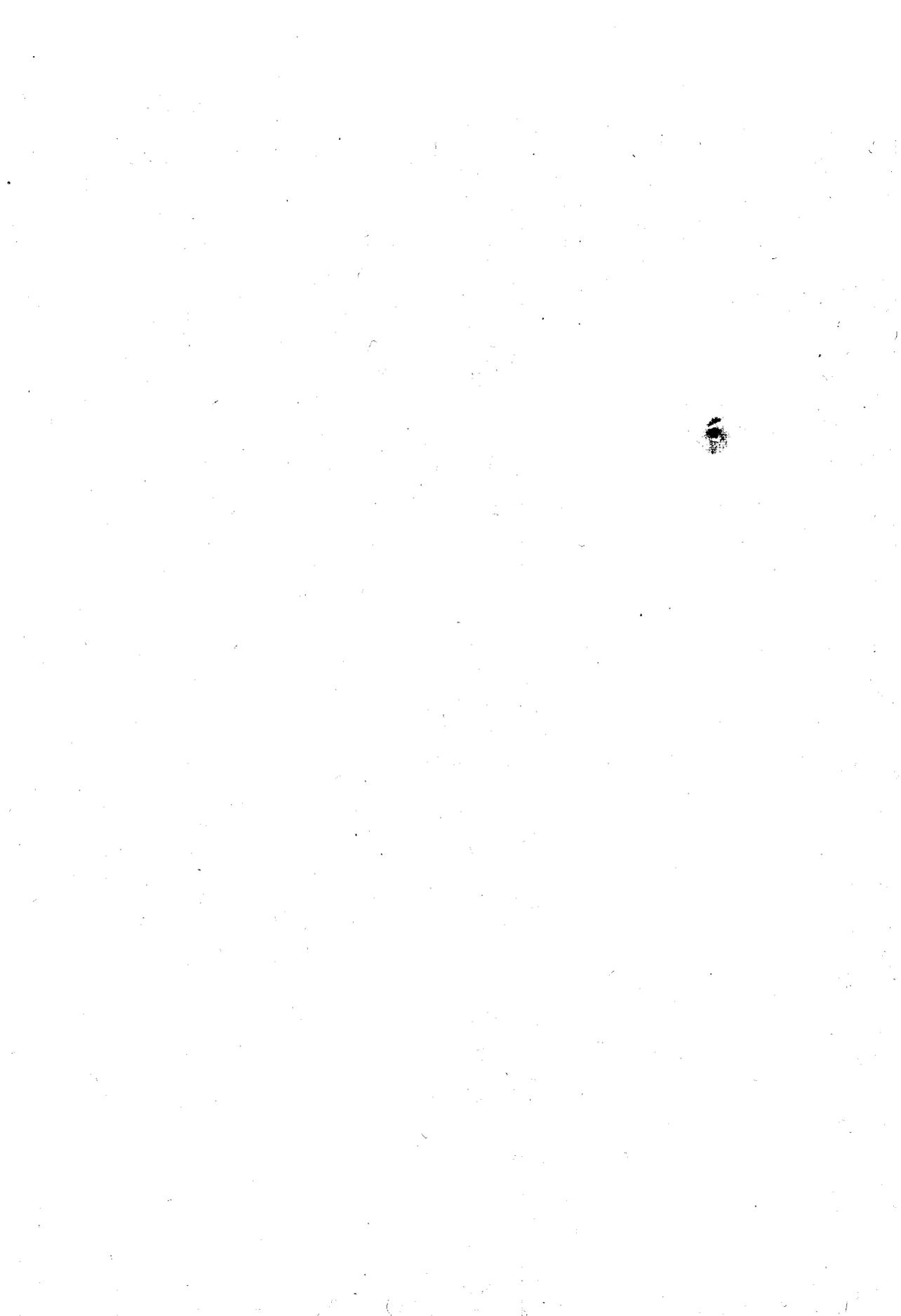




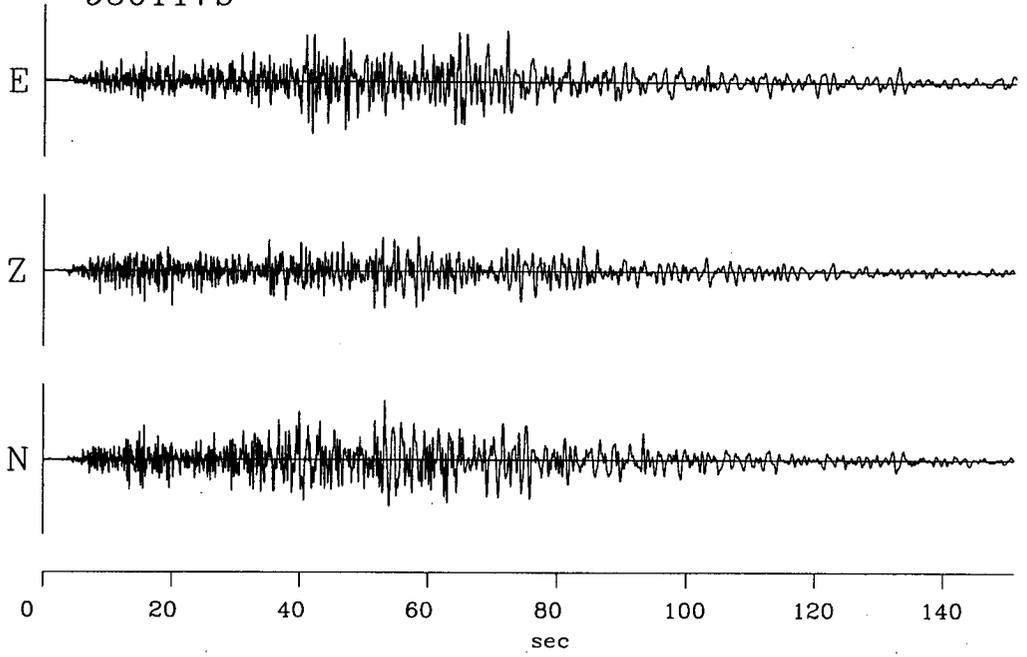


APPENDIX IV

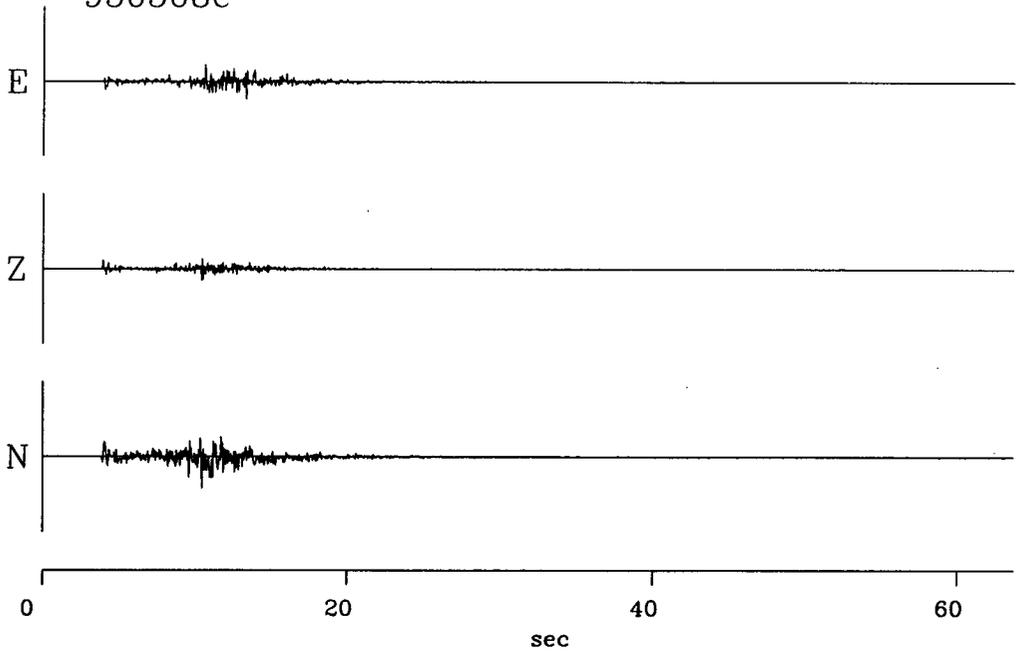
DIGITAL EARTHQUAKE DATA

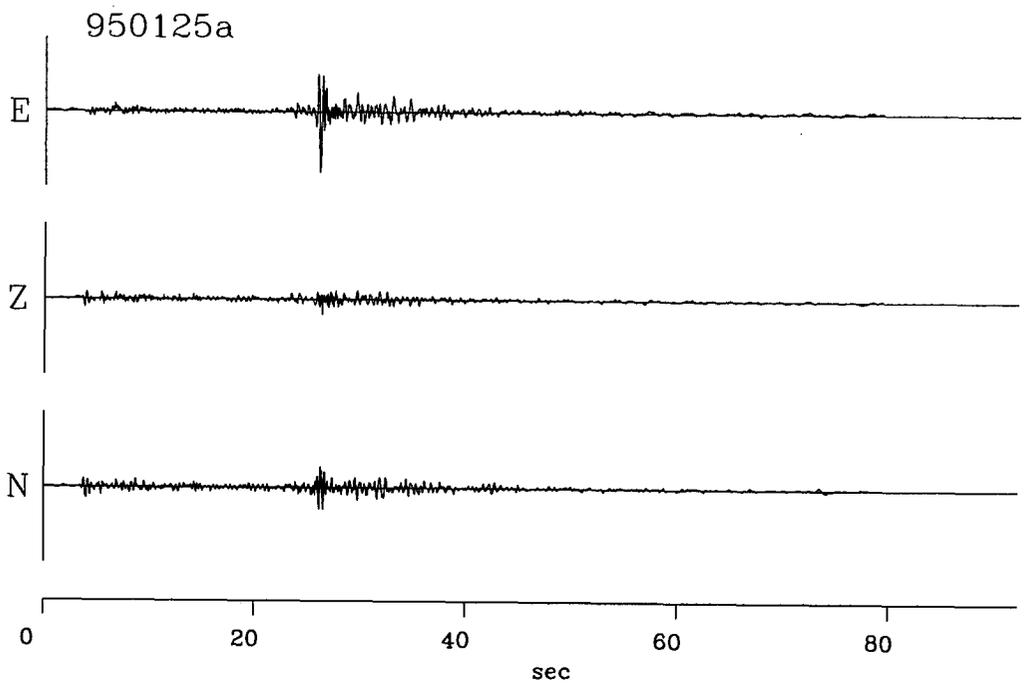
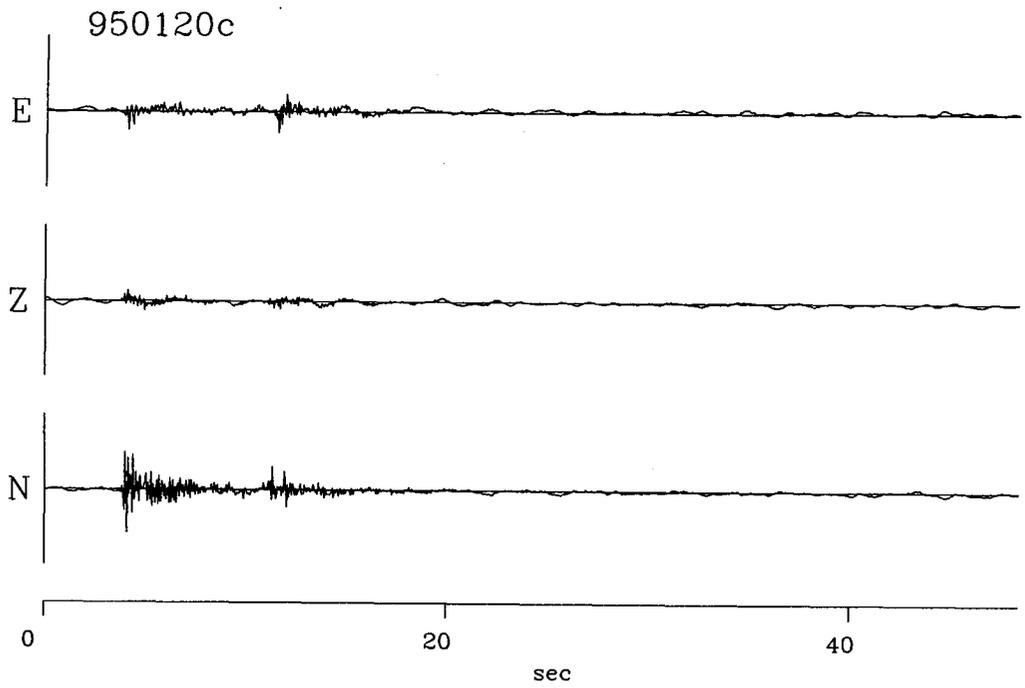


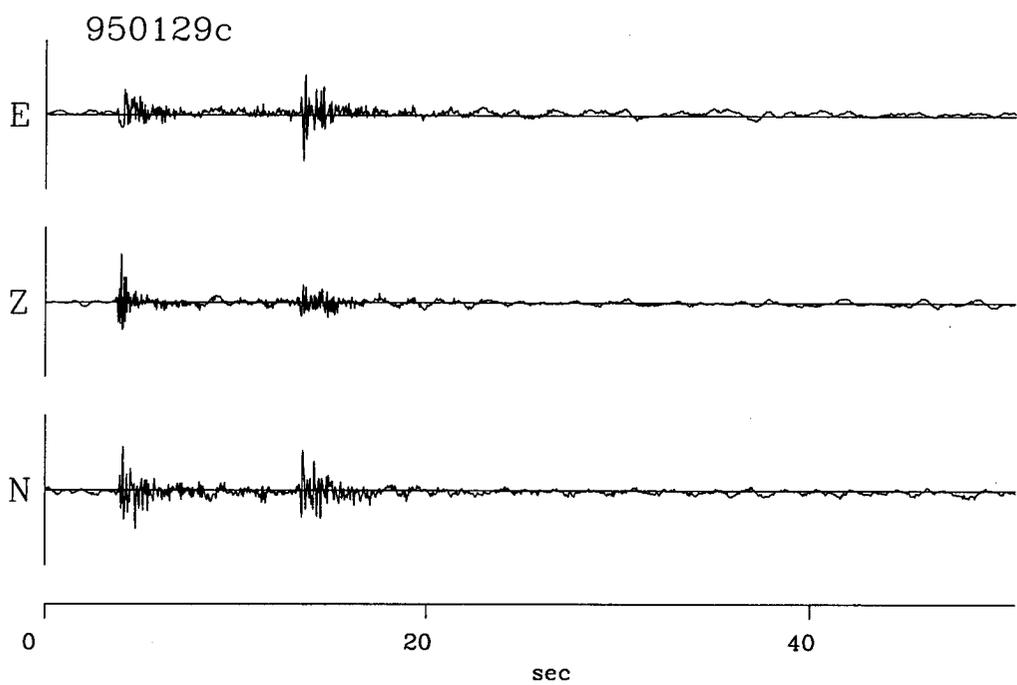
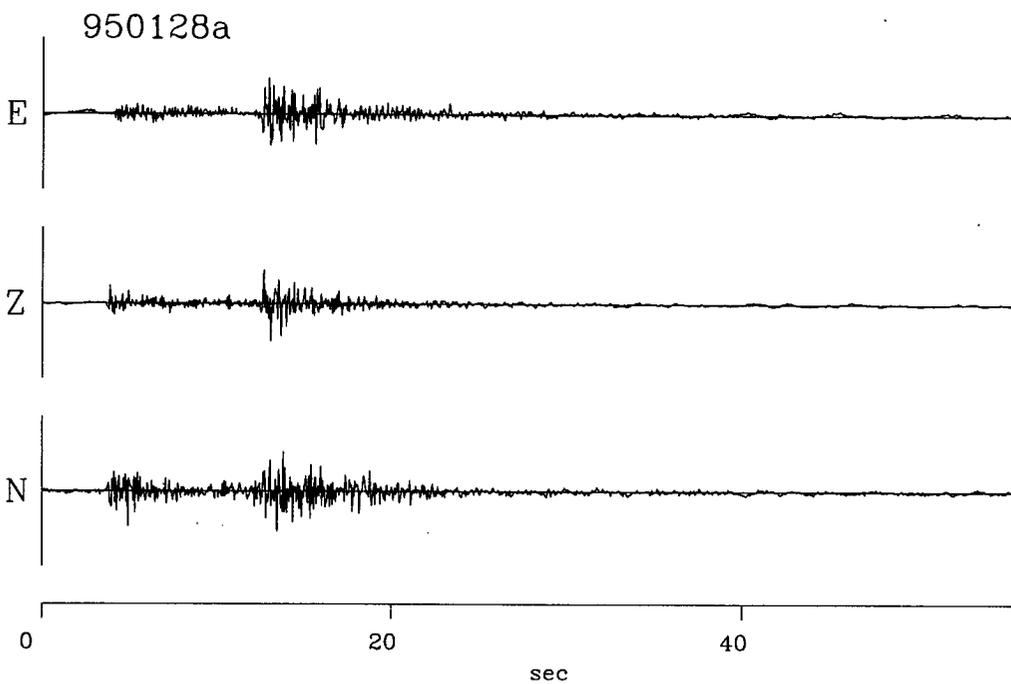
950117b

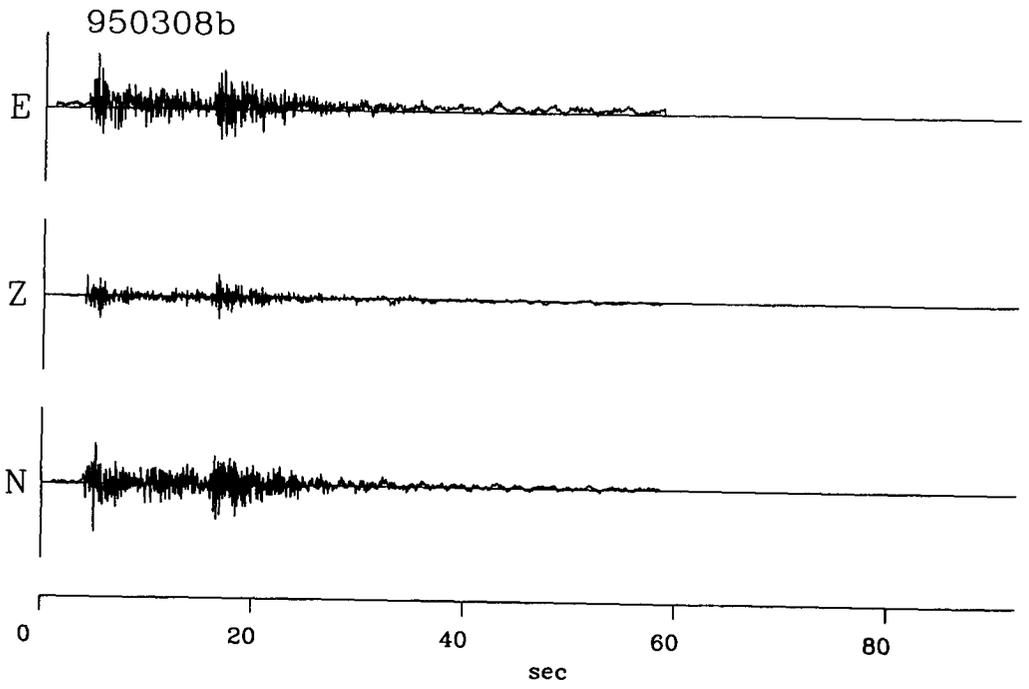
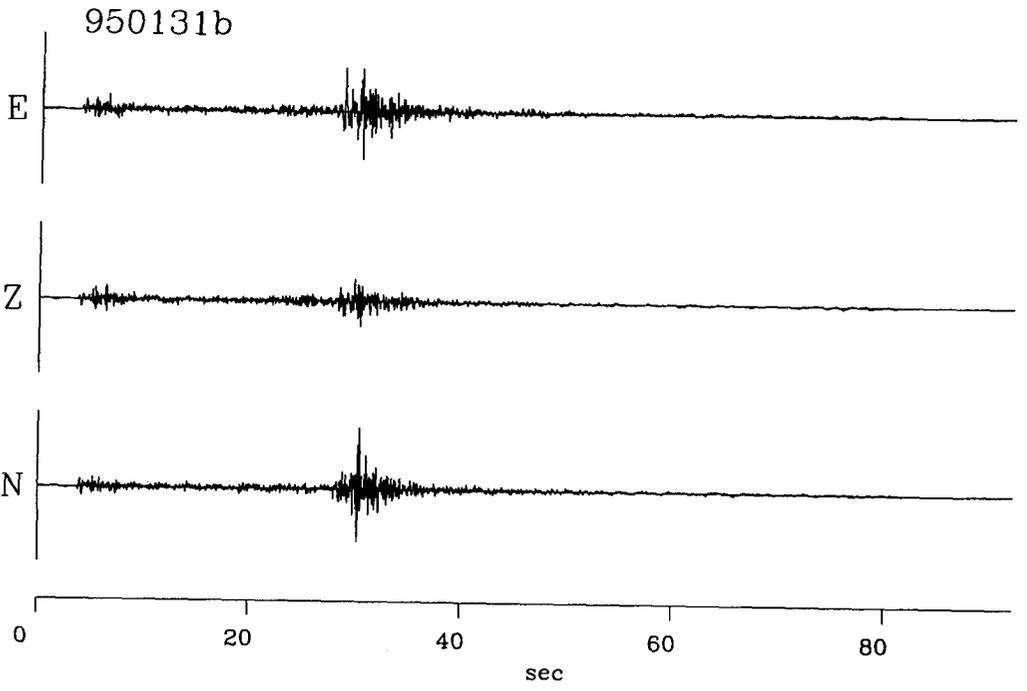


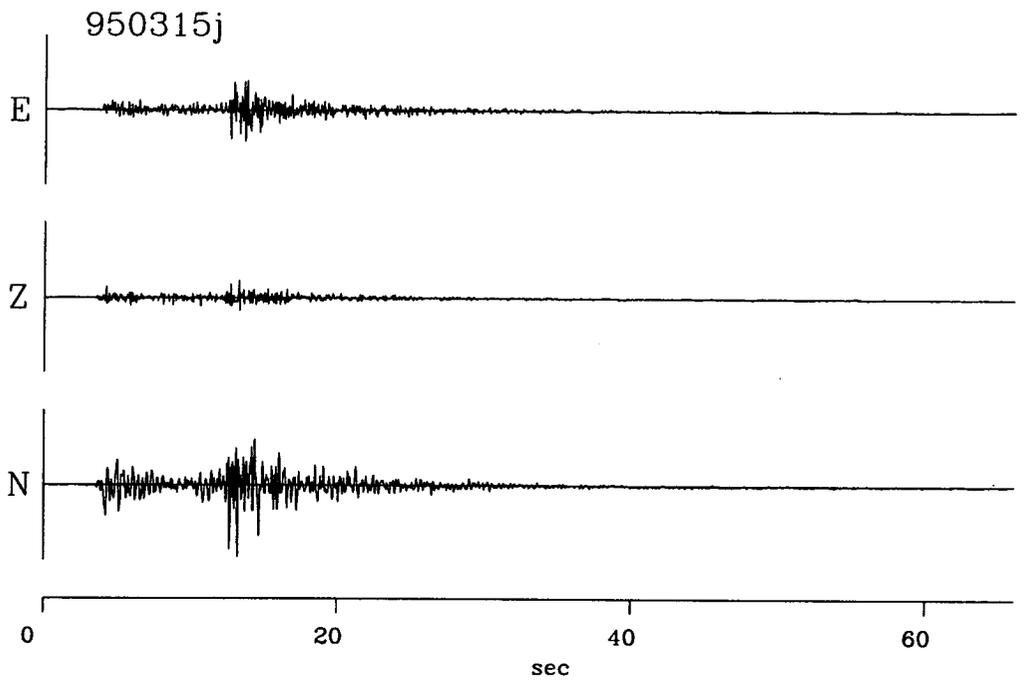
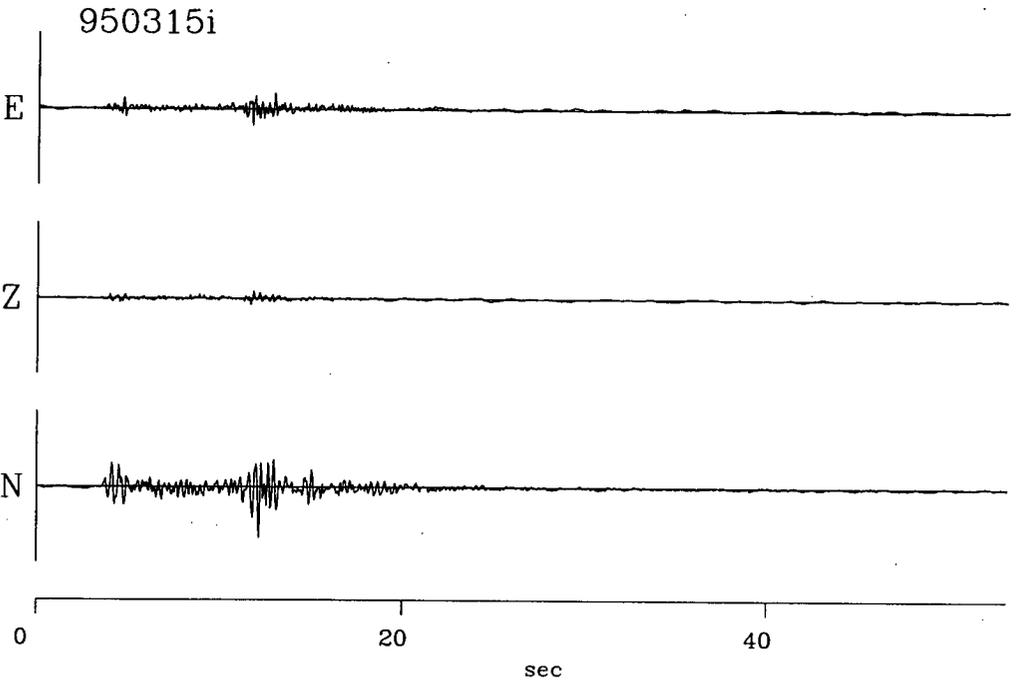
950508c

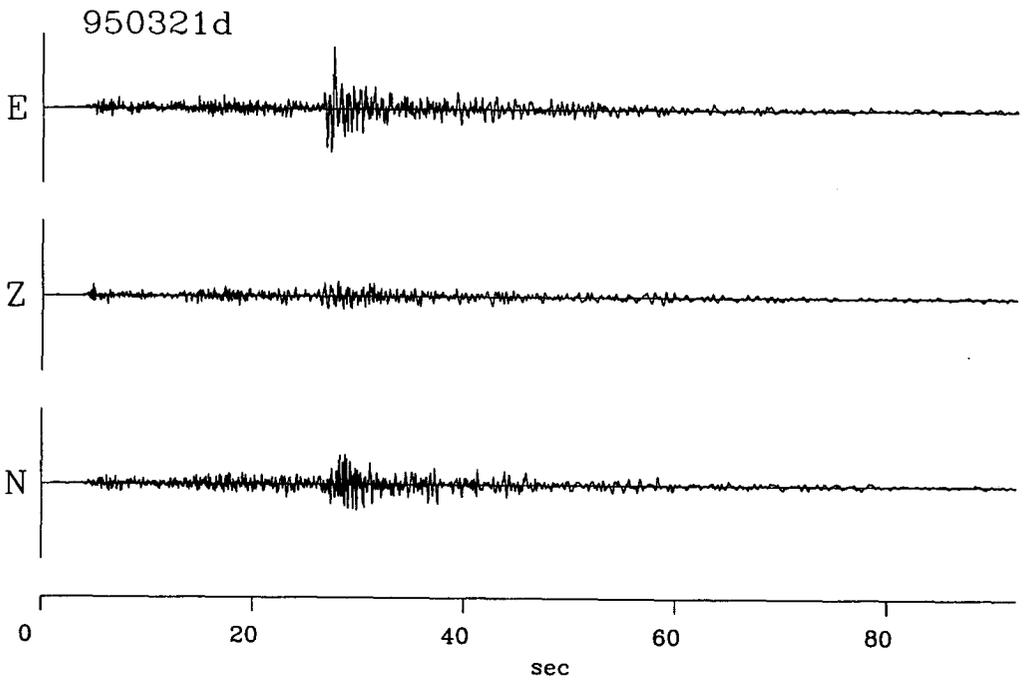
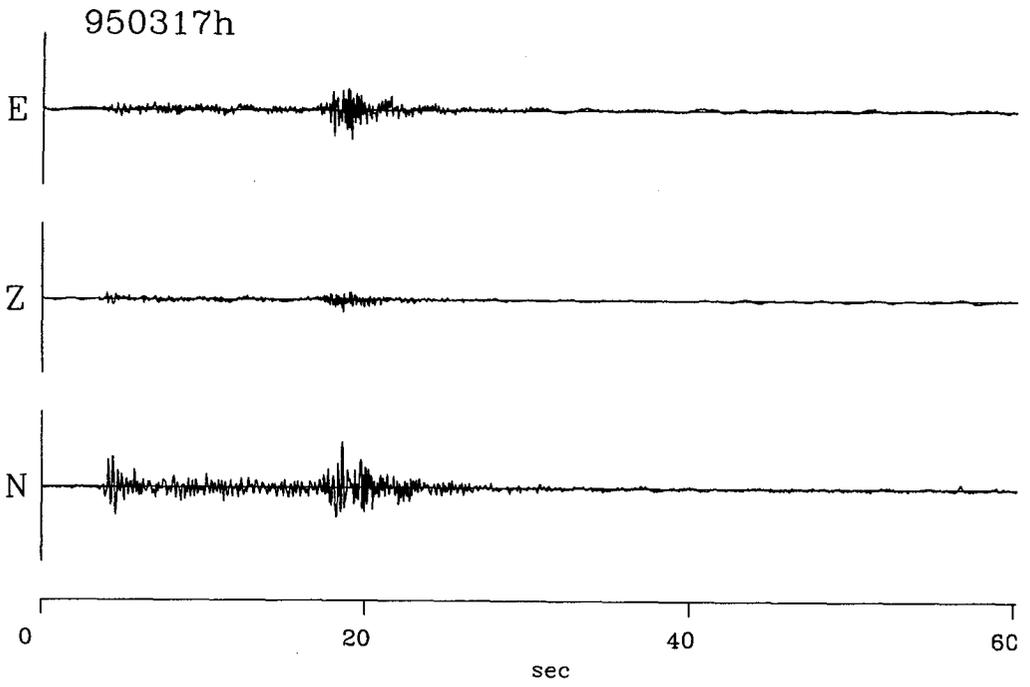


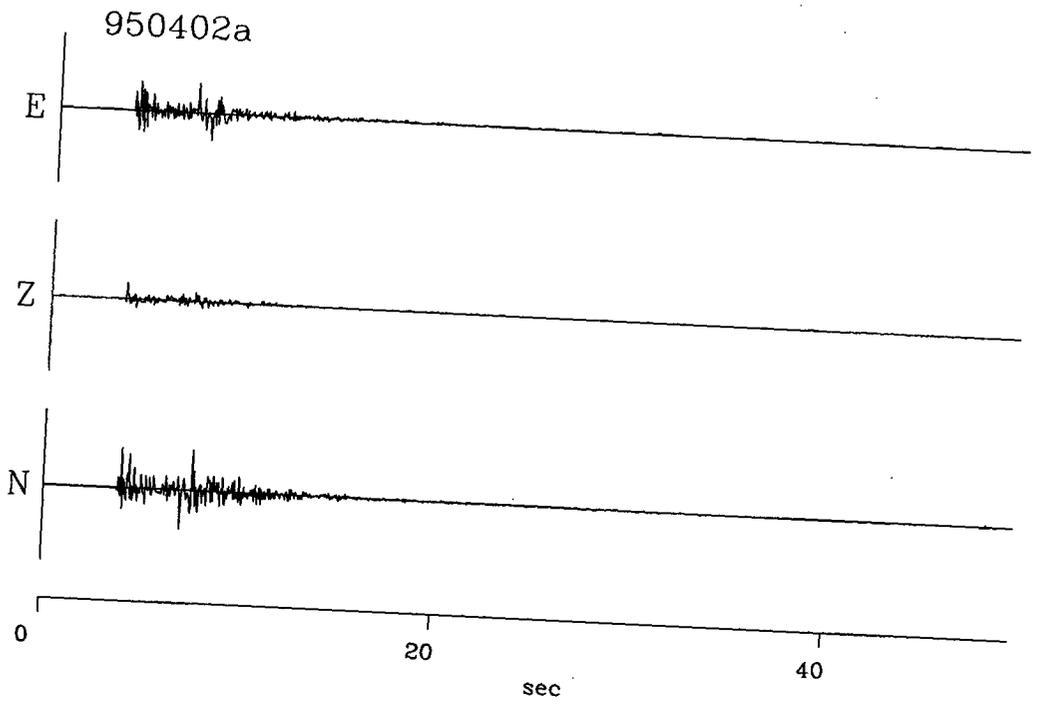
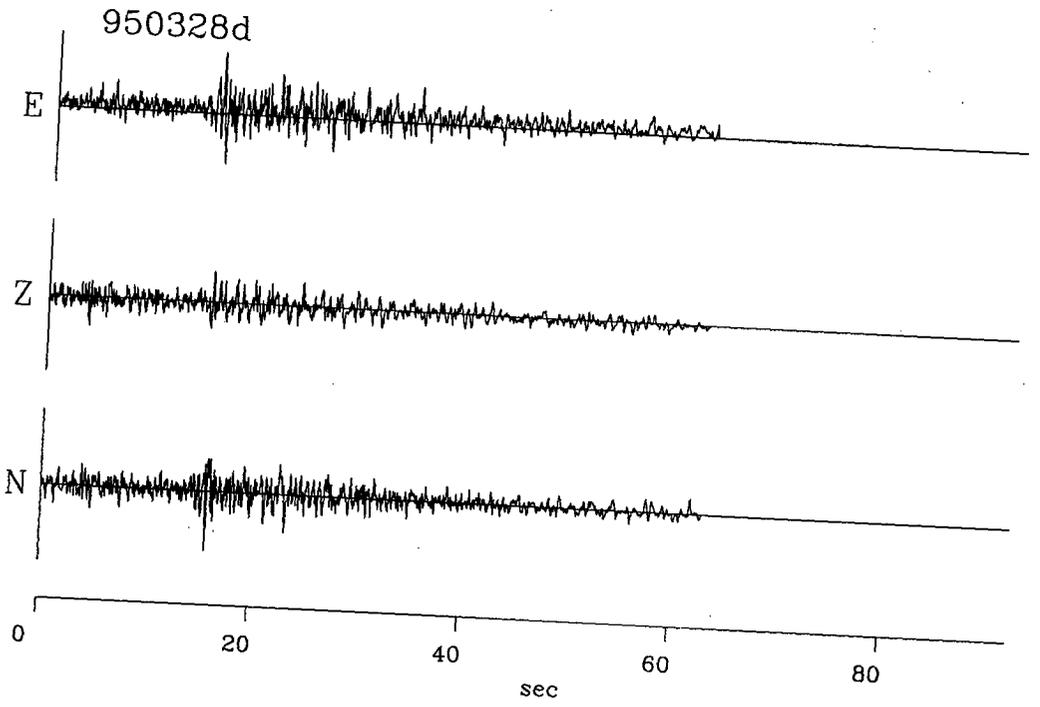


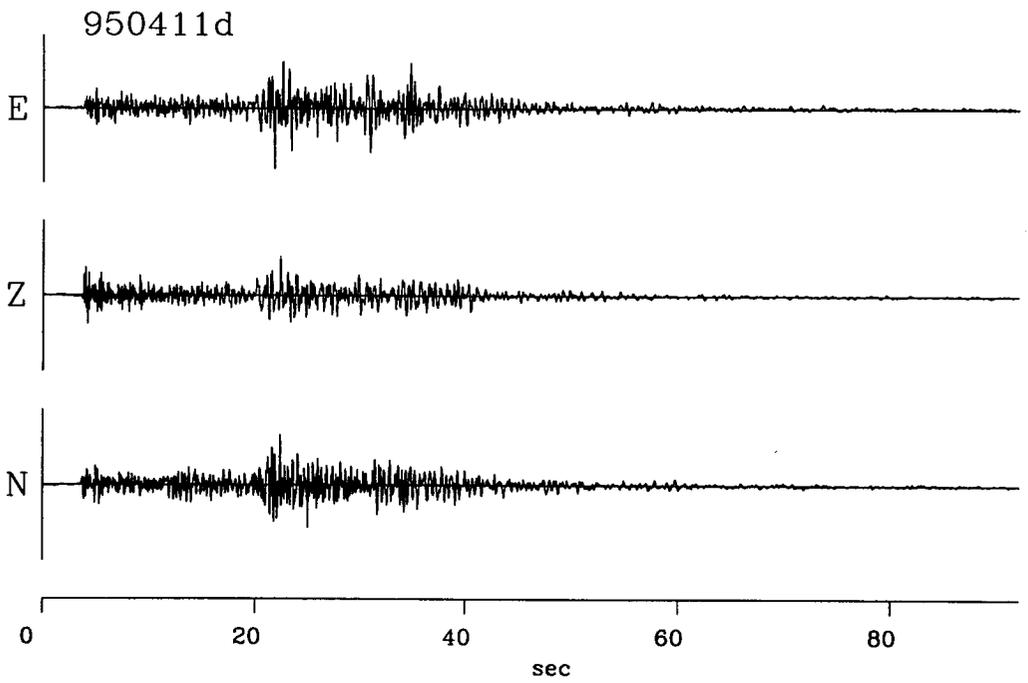
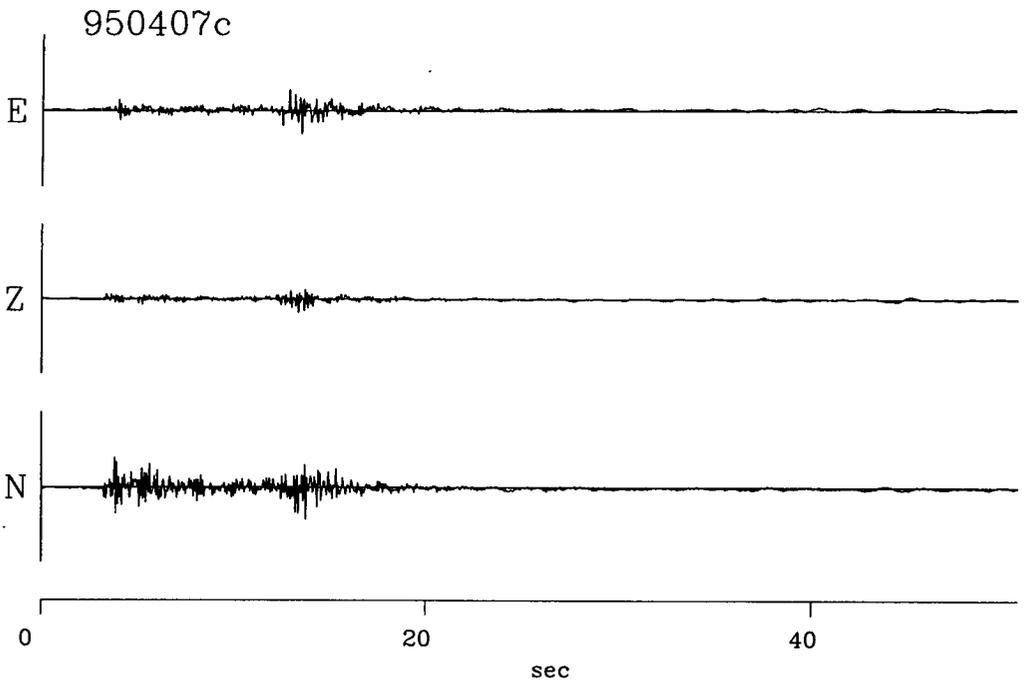


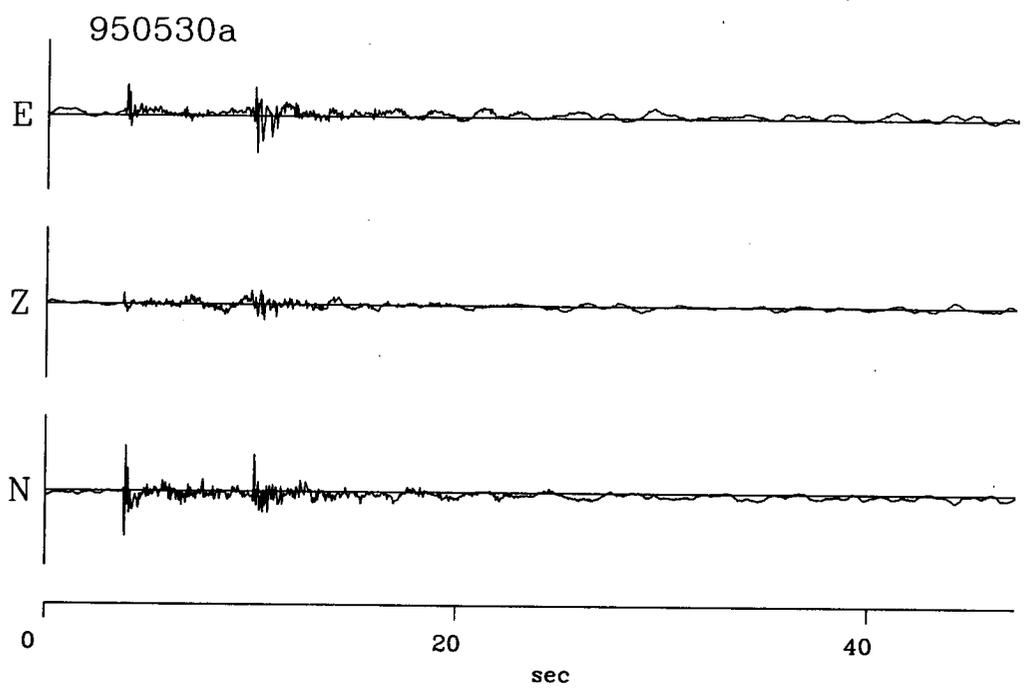
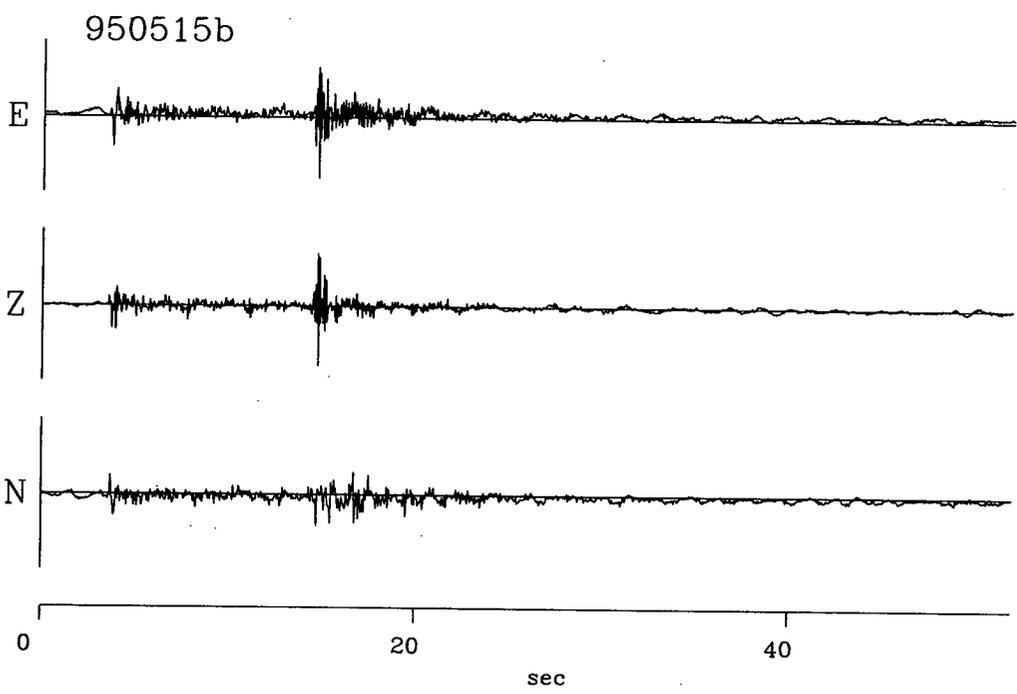


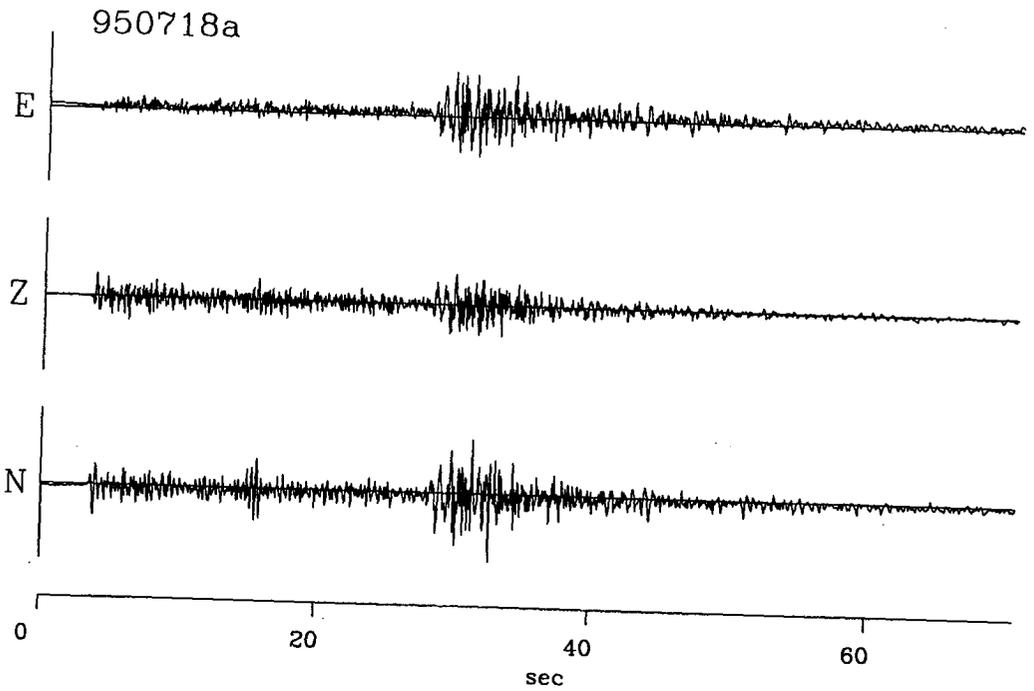
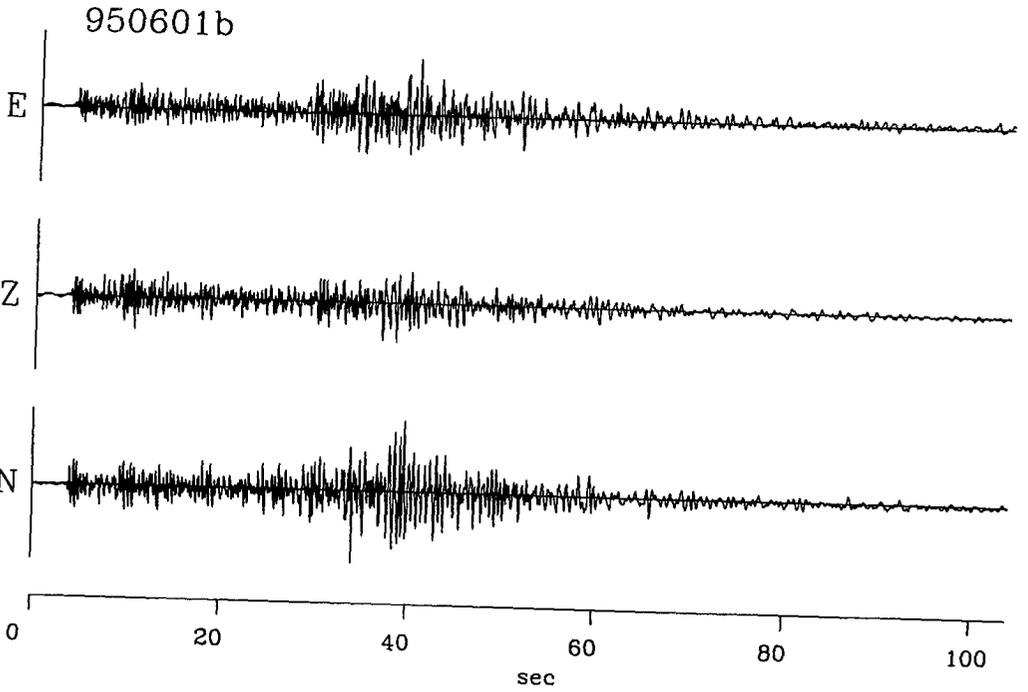


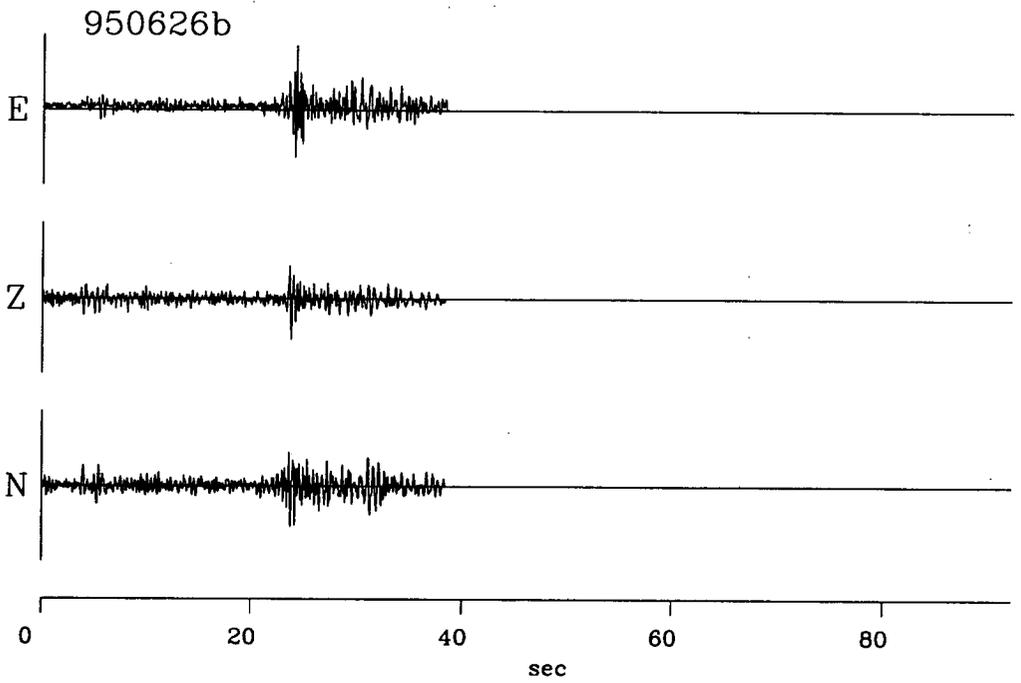
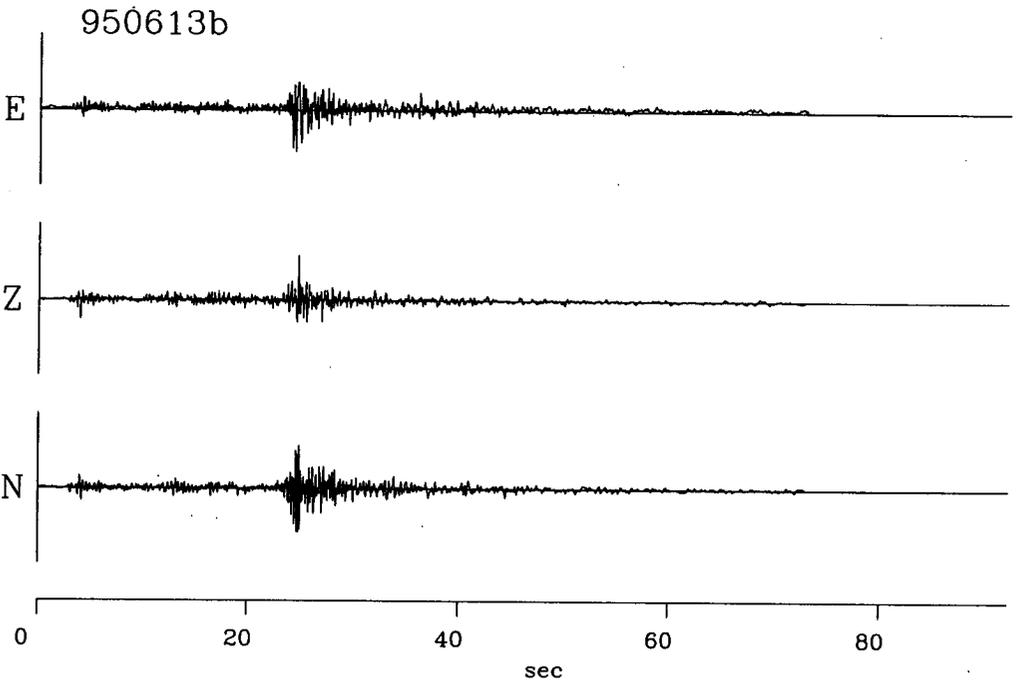


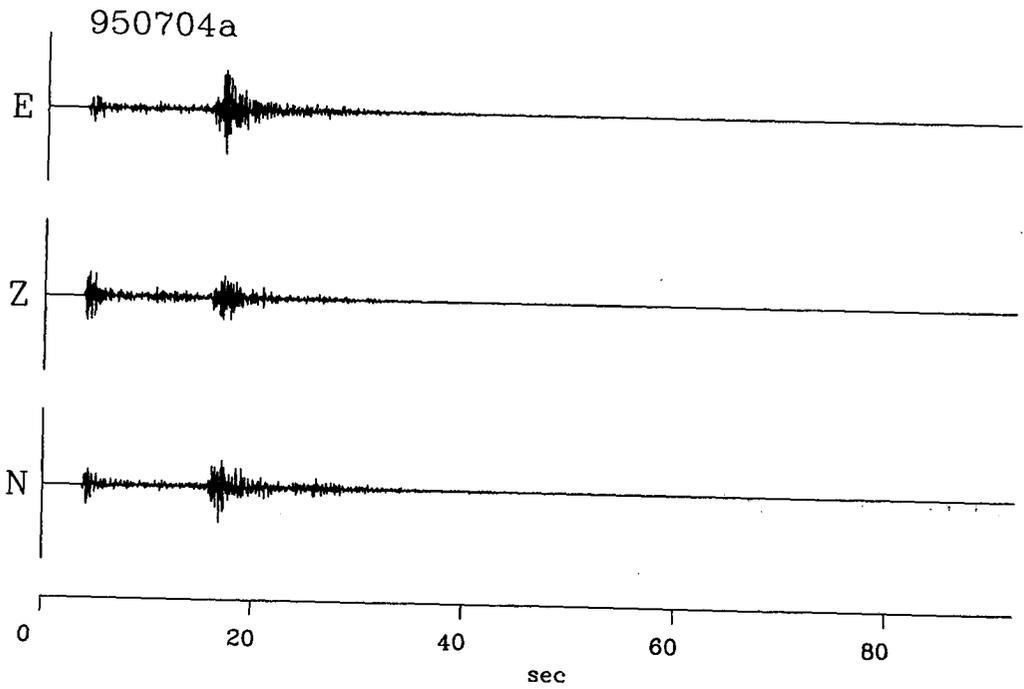
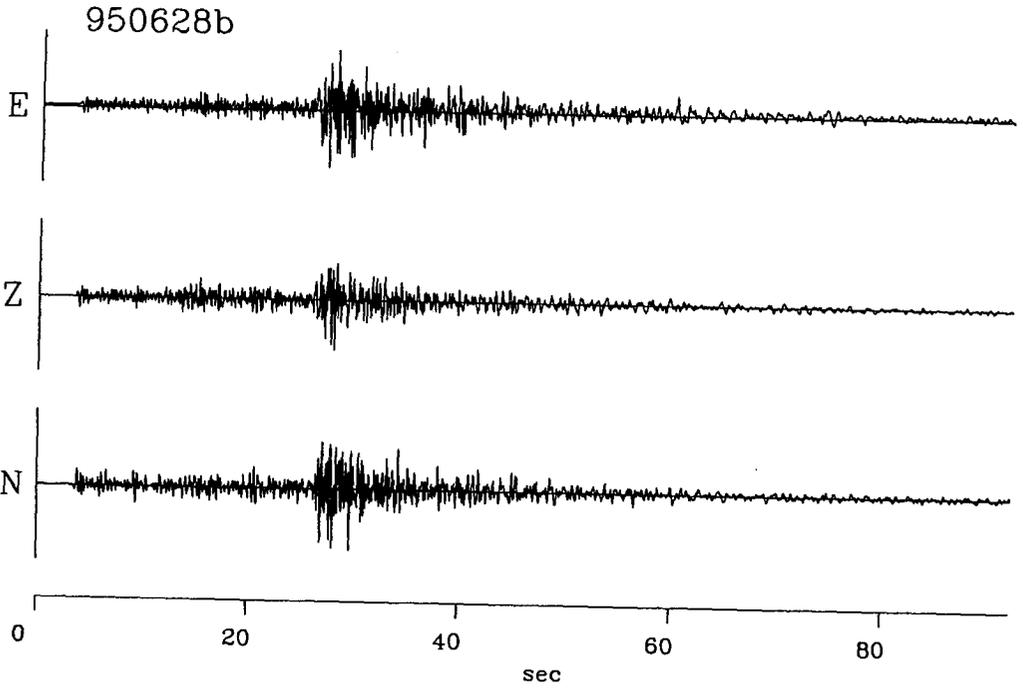




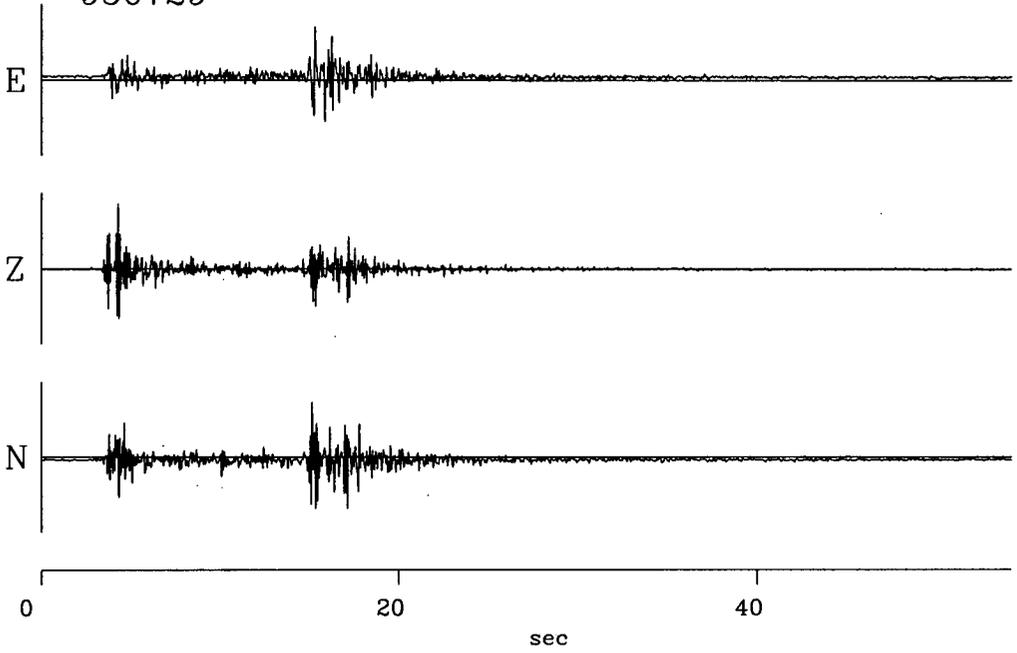




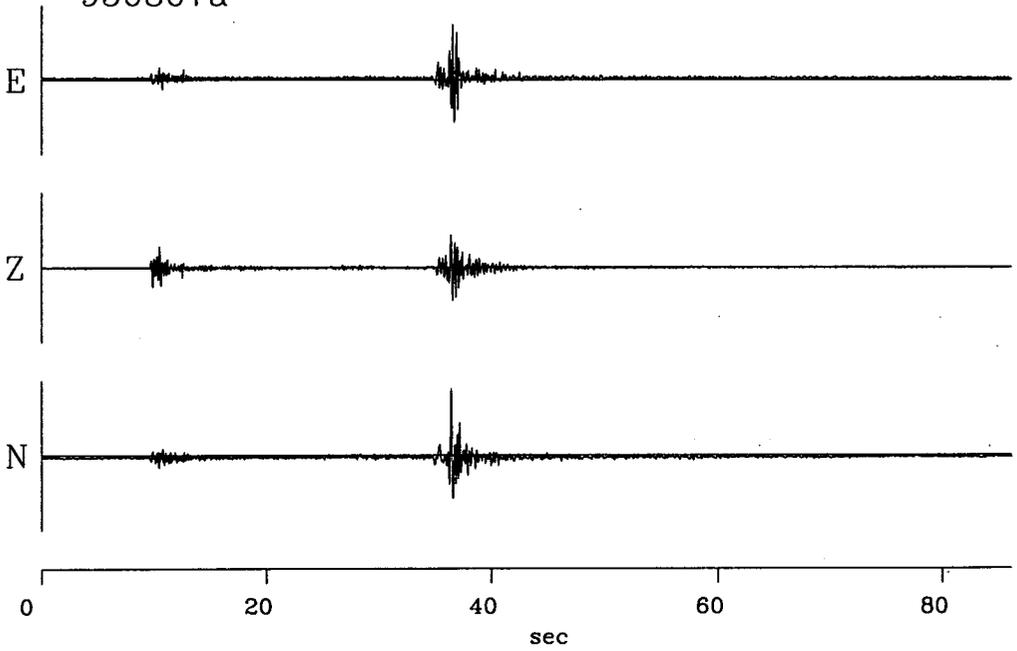


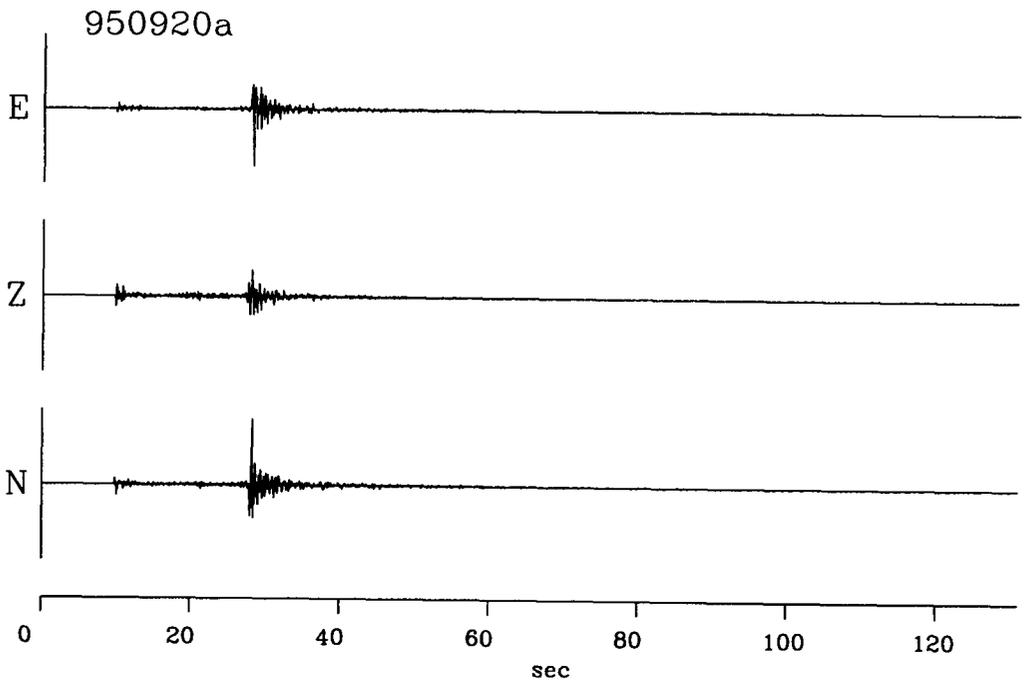
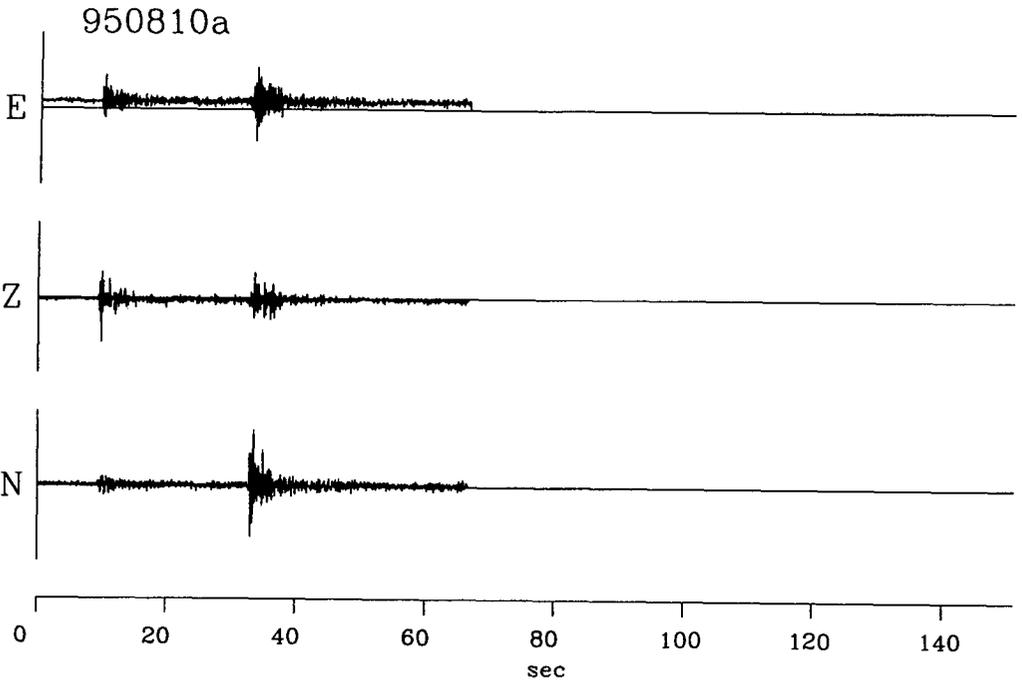


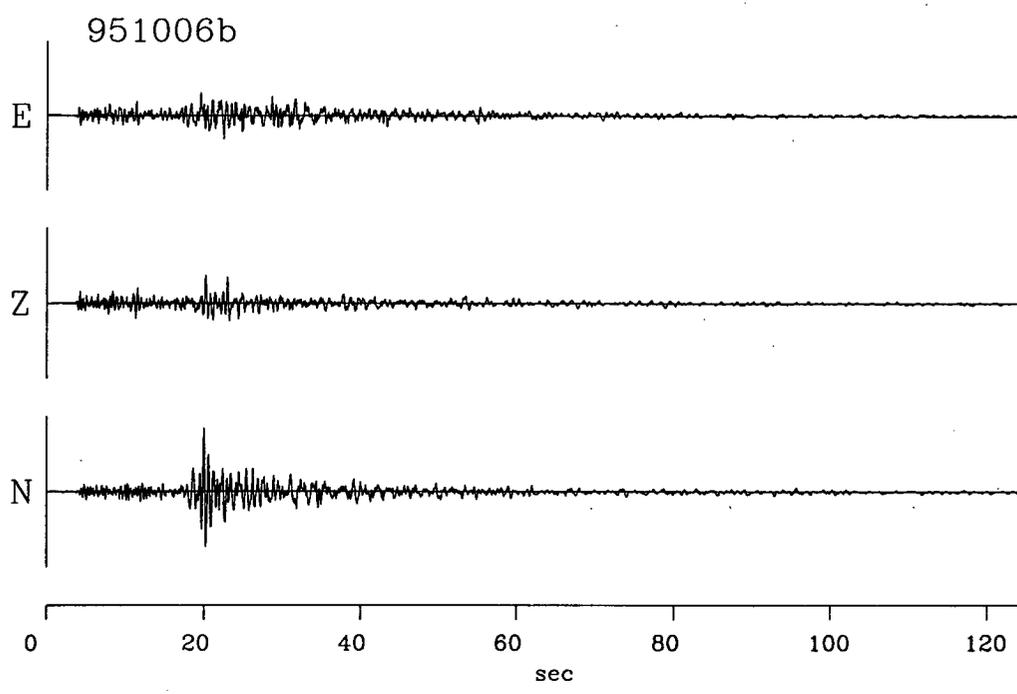
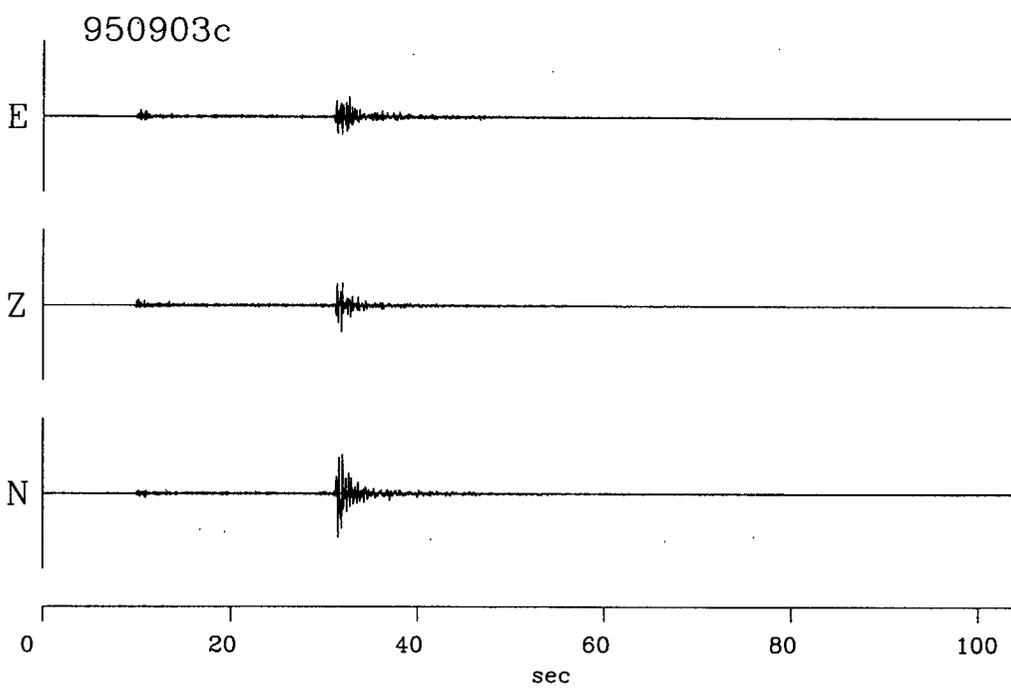
950729

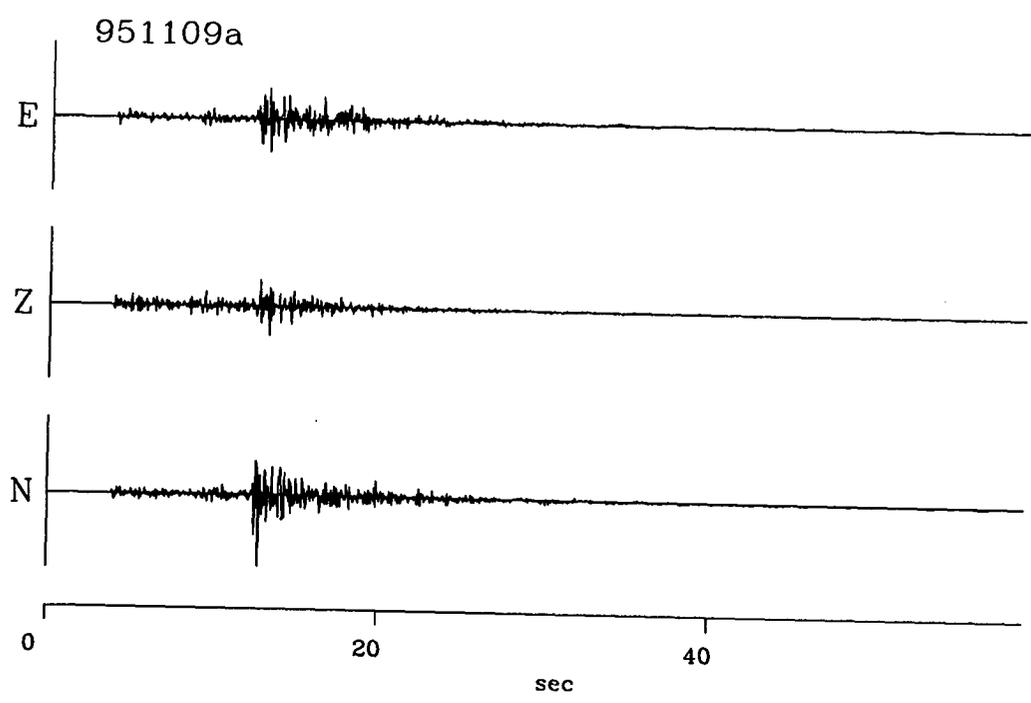
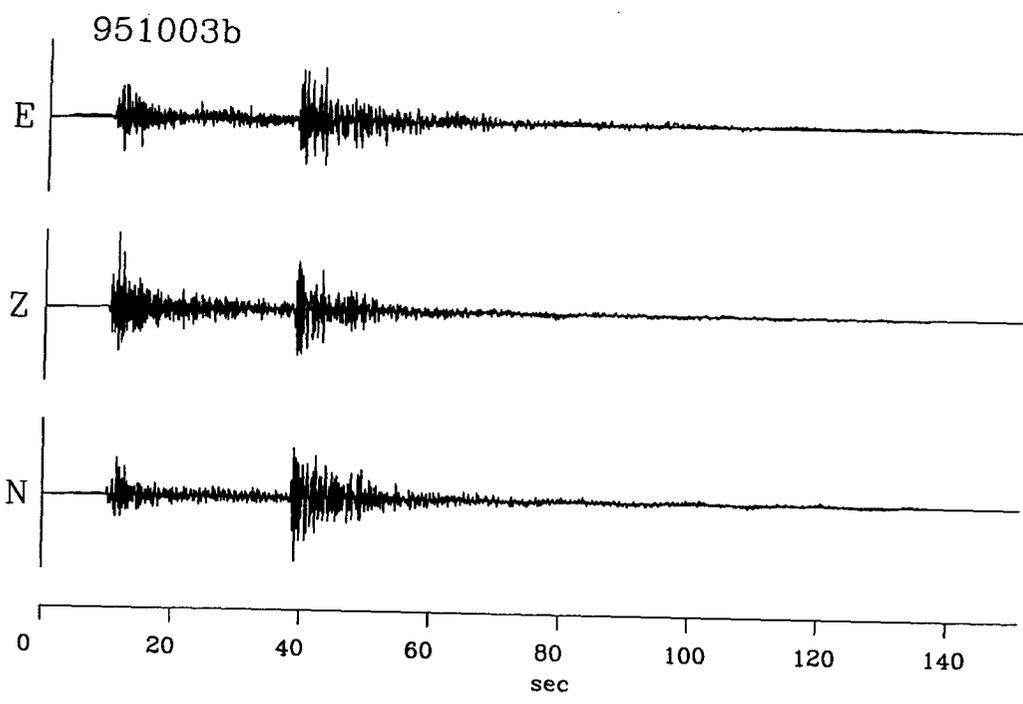


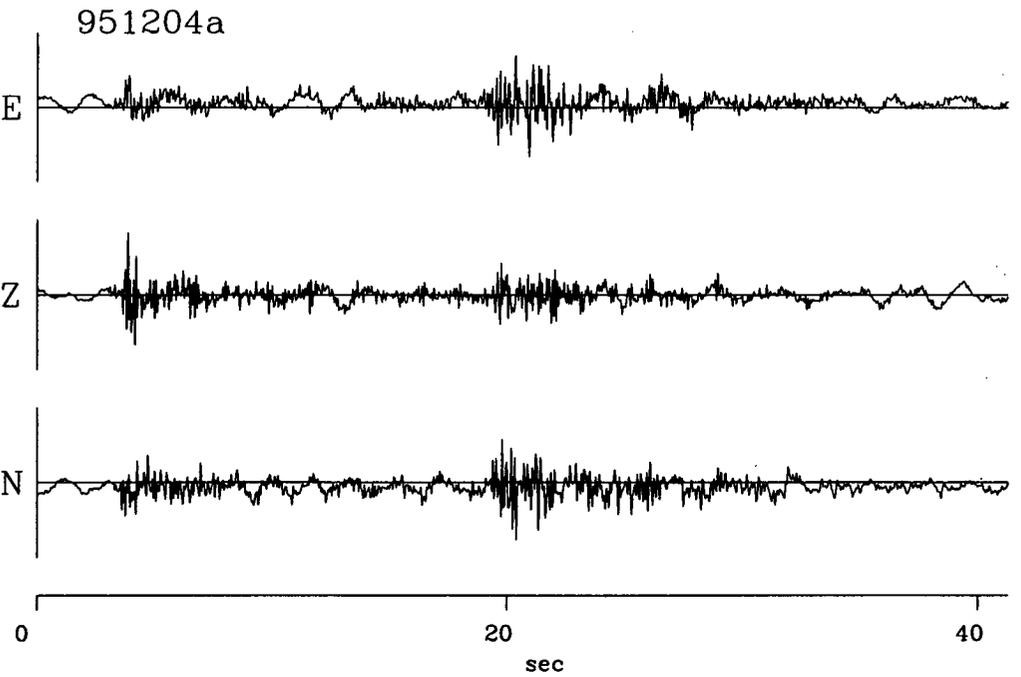
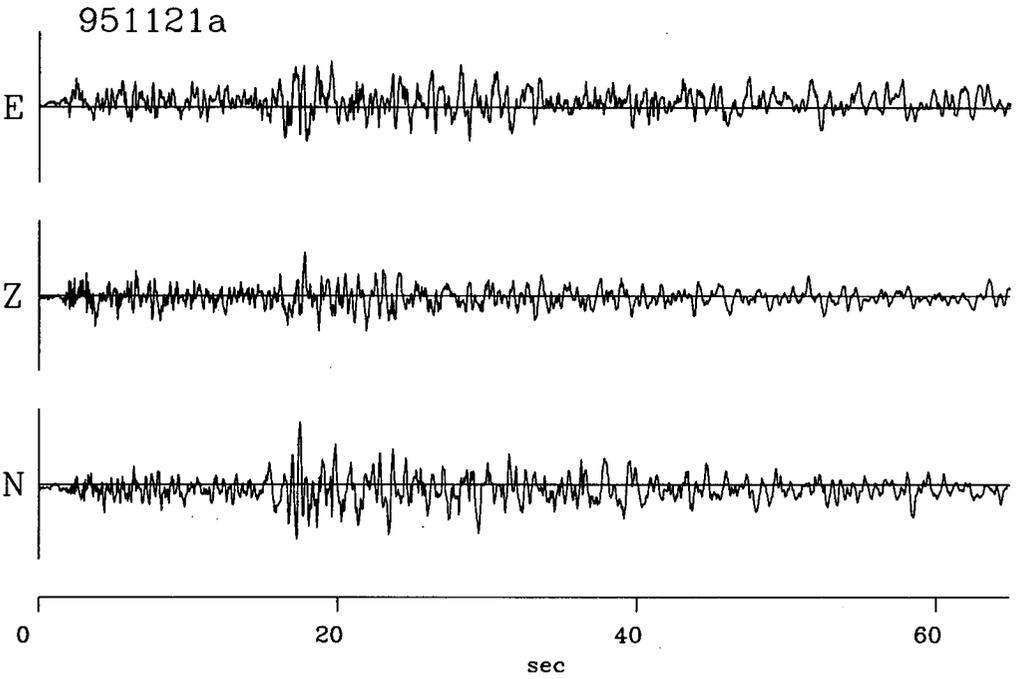
950807a

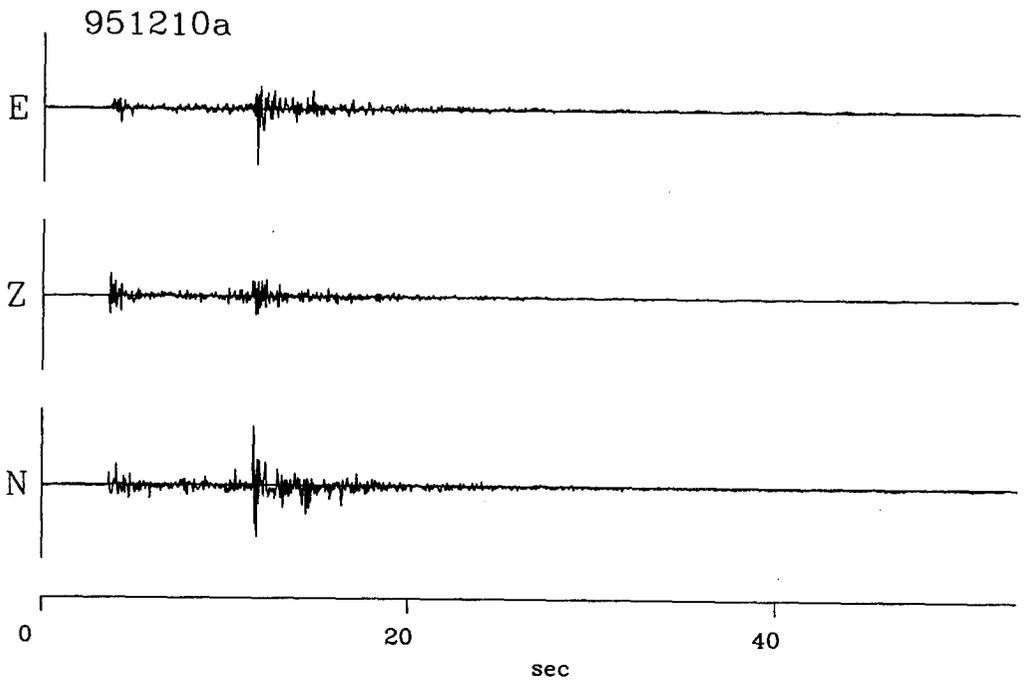
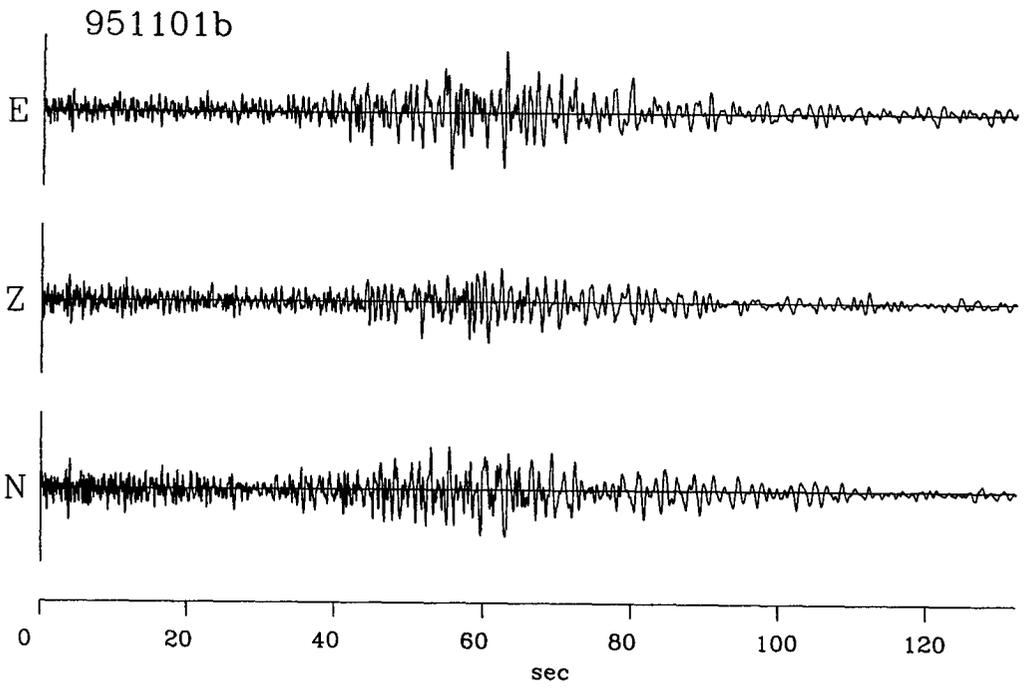


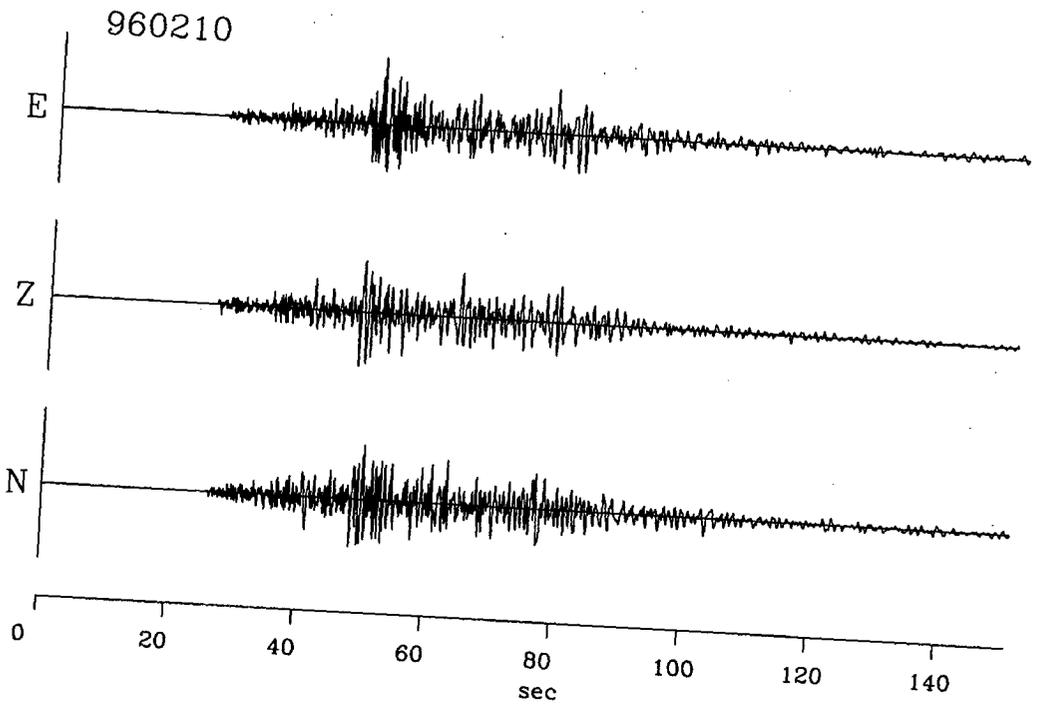
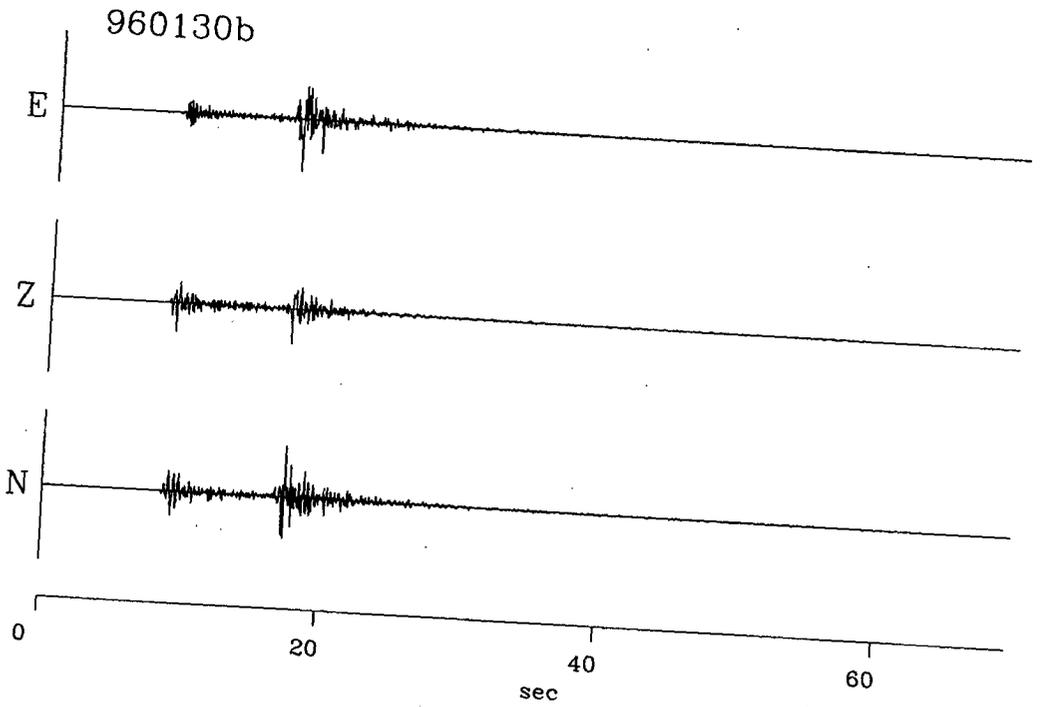




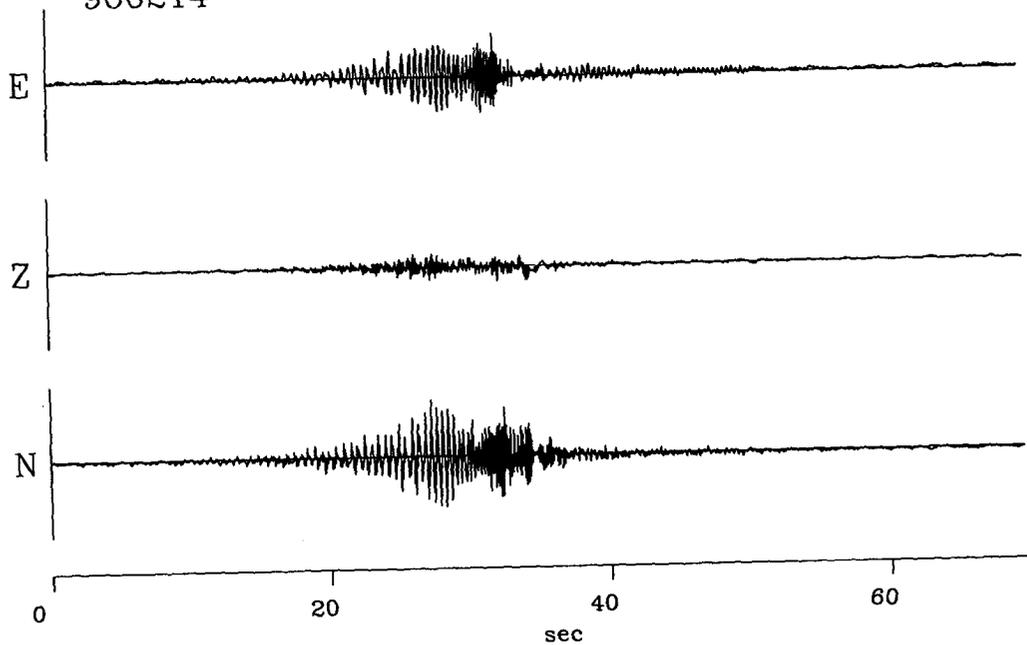




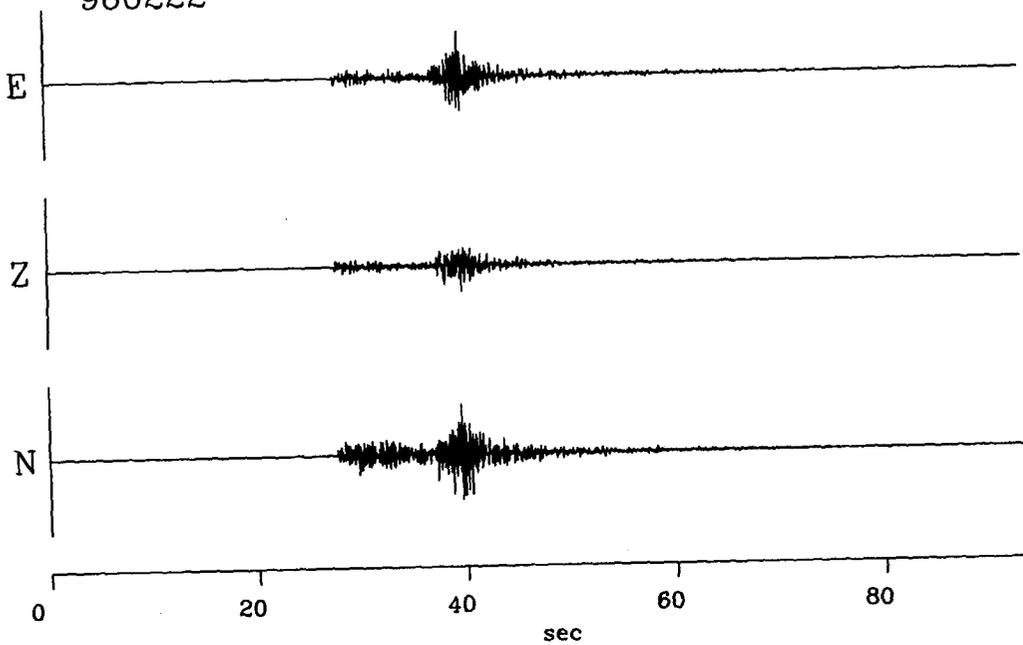




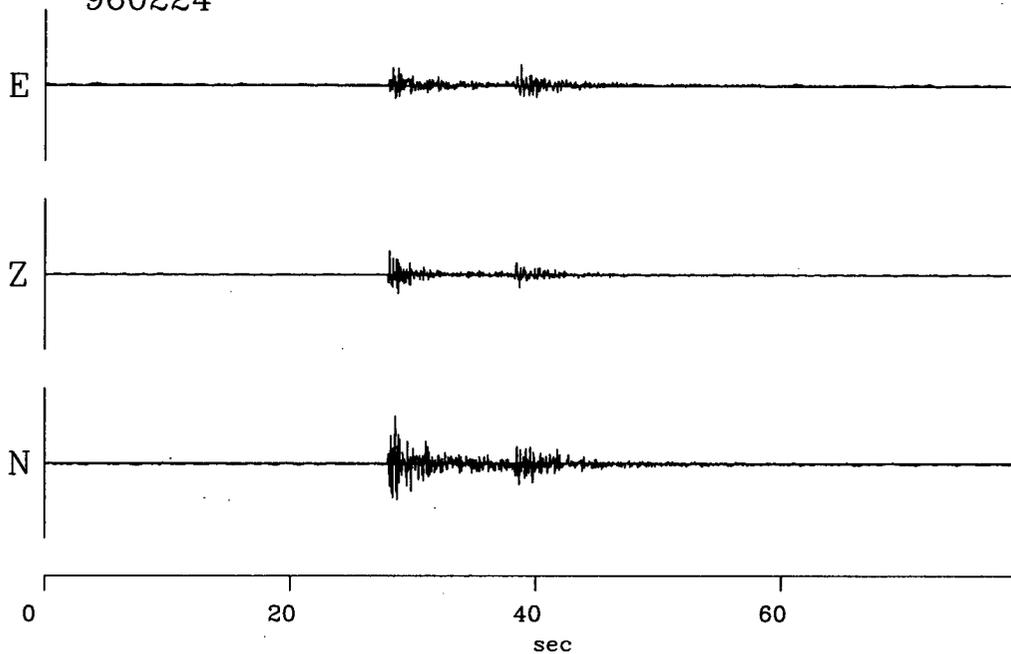
960214



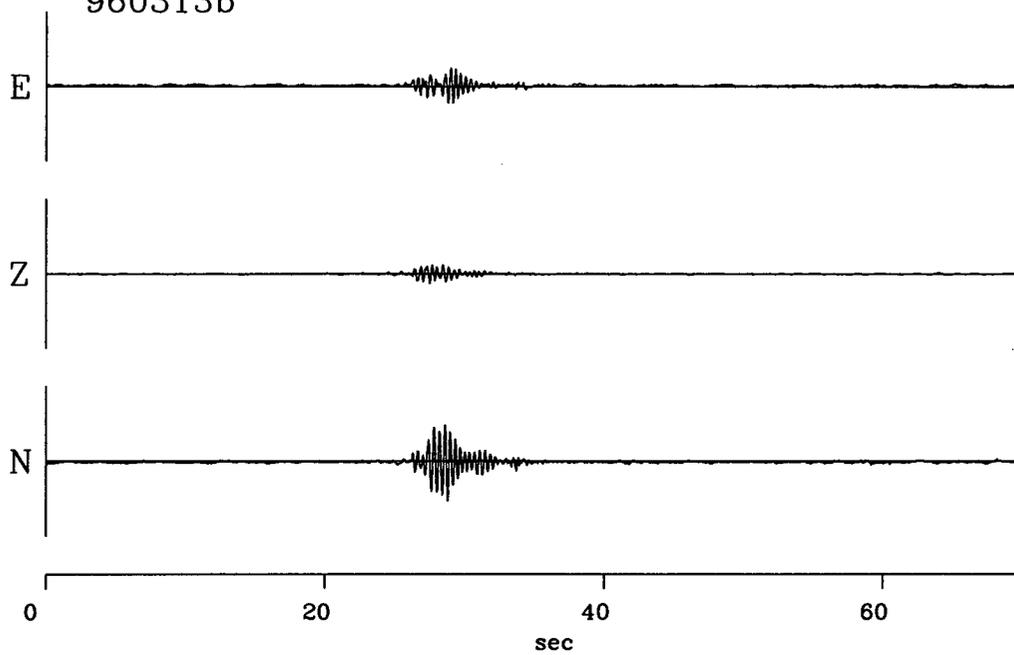
960222

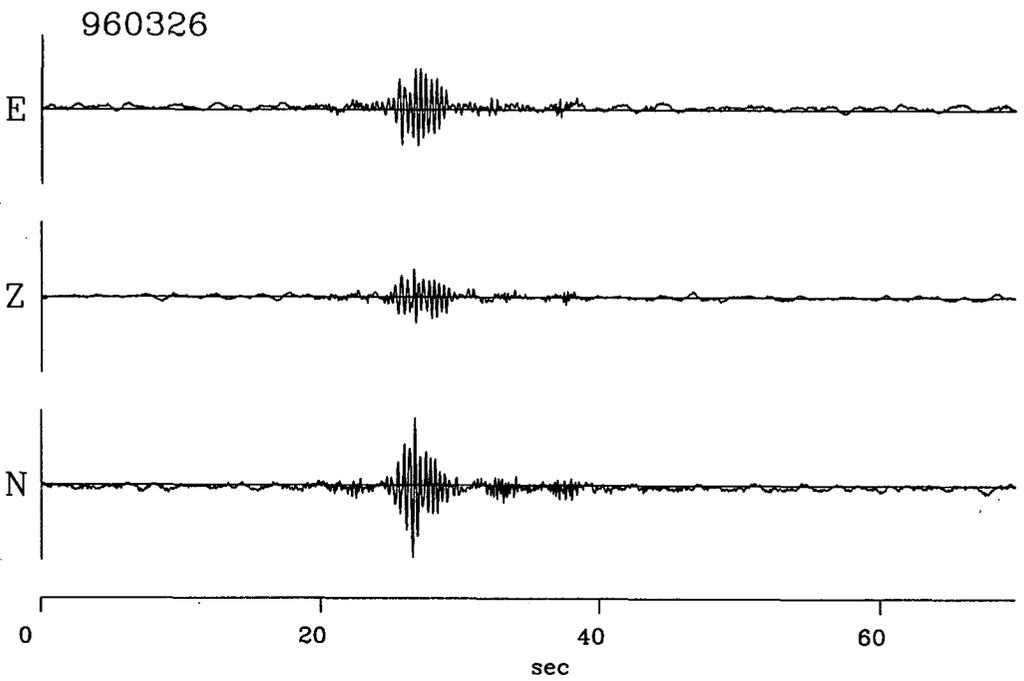
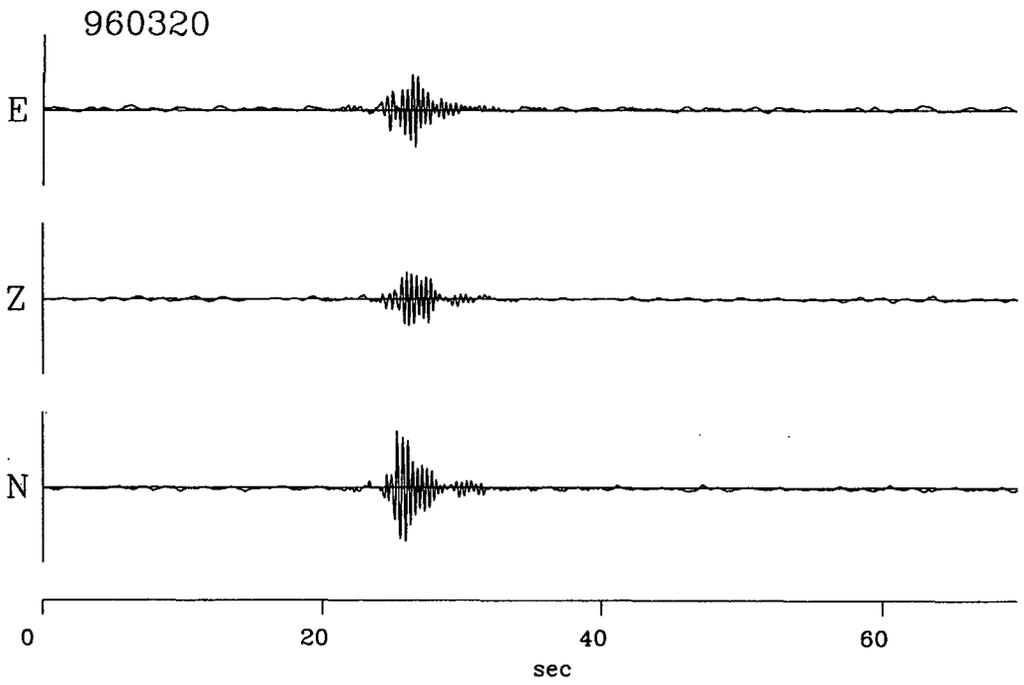


960224

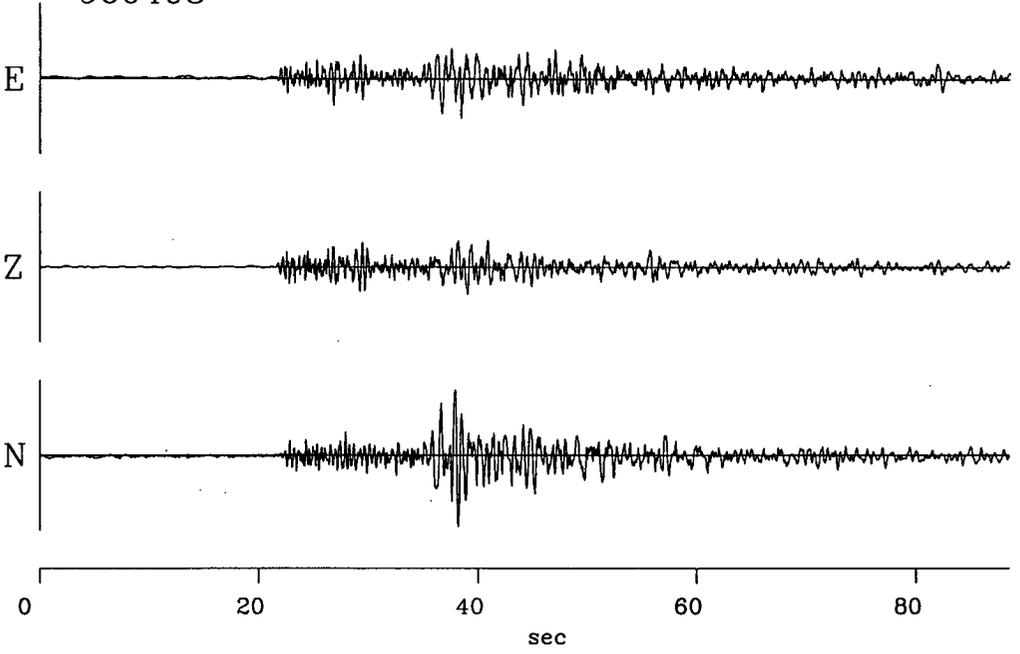


960313b

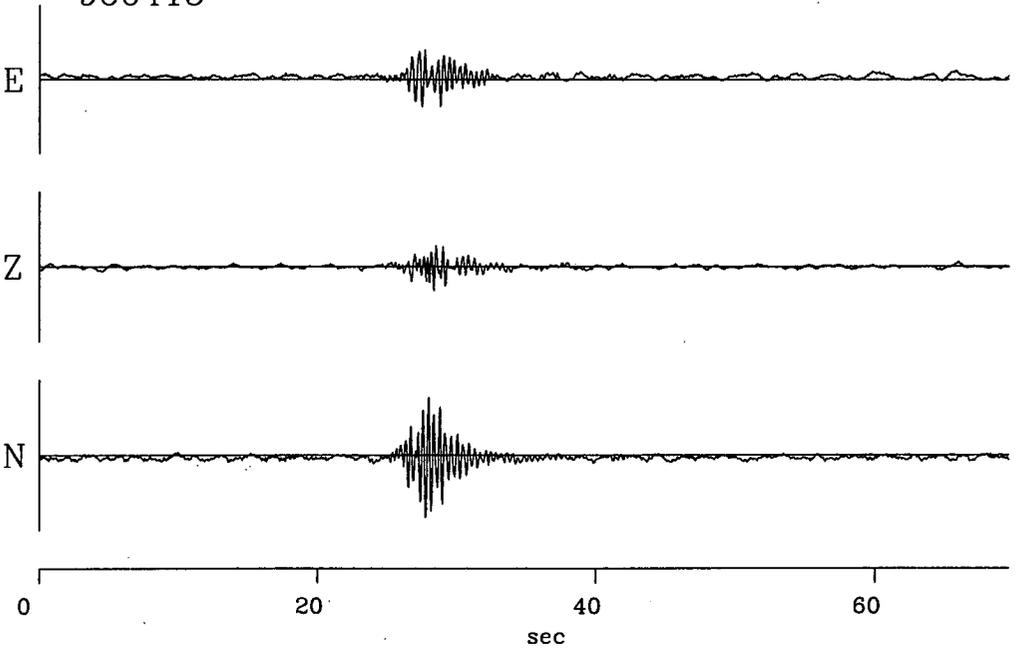




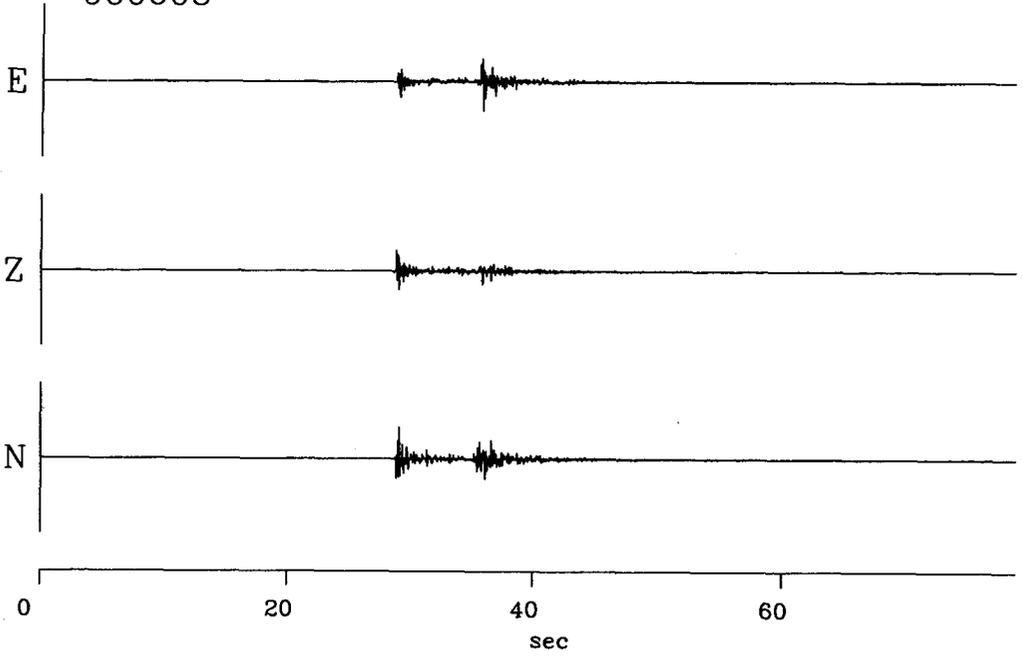
960408



960415



960608



960610

