



# 論文内容要旨

## 〔序〕

1970年秋田県南東部地震は奥羽脊梁山地付近に発生した破壊的地震である。有史以来、奥羽脊梁山地より日本海沿岸にかけての地域は、マグニチュード6を超える地震が数多く発生した。しかし、これらの地震の大半は地震観測網の整備される以前に発生したものであり、震源過程や余震活動に関する詳細な研究は少なく、更に、大地震に先行し発生する地震に関する研究は皆無に等しい。

1967年より開始された地震予知研究計画(現在は地震予知計画と改称)で、東北大学は過去の破壊的地震の分布を考慮した微小地震観測網を作った。この観測網のほぼ中心付近に秋田県南東部地震(以下、本震と呼ぶ)が発生し、その震源過程や先行地震活動に対し、科学的検討に耐えるデータが得られた。

かくして、本論文では本震および余震の震源過程ならびに先行的地震活動について詳しく論ずる。また、微小地震の応力降下量分布から導かれる応力降下量指数を定義することにより、指数の分布が震源域における応力分布あるいは強度分布との密接な関連を示唆しており、先行的地震および余震の性質を統一的に説明し得ることを明らかにする。

## 〔本震の発震機構〕

発震機構は、P波初動押引分布およびS波初動の方位分布より、それぞれ独立に求められ、いずれの解も主圧力軸がほぼ水平面内で東西方向にあり、主張力軸がほぼ鉛直面内にある逆断層型となった。発震機構の解における節平面より本震の断層面を判断する為、本震発生後17時間以上34時間以内における余震が用いられた。余震はほぼ東下りの面に沿い発生しており、この分布のまとまりが良好で最適と考えられるモデルは、N70°E方向へ47°の傾斜角で下がる面である。この断層面の拡がり、余震分布より長さ15km、幅11kmと見積られた。

一方、発震機構の解に基づき断層モデルを考え、これにより理論値と比較された観測データは、レイリー波変位スペクトル密度、地殻上下変動量、実体波変位スペクトル密度である。この結果、余震分布から推定された断層面はこれらの観測データを満足するものであることが確認された。本震の断層パラメータは、地震モーメント $1.4 \times 10^{25}$  dyne·cm、断層面積165km<sup>2</sup>、応力降下量13bar、平均的くい違いの量28cmである。

## 〔余震の震源過程〕

本震後に約5週間行なわれた特別観測のデータから523個の余震の震源が求められた。余震の70%は本震の断層面から上下2.5kmの範囲内に発生し、これと共役な方向へは拡大していない。断層面沿いにとった平面上へ投影された余震分布を2km四方のメッシュに分割した時の、1メッシュ当たりN個の地震を含むメッシュ数P(N)の分布は、べき分布

$$P(N) = \gamma N^{-\delta}$$

を示し  $\delta \cong 1$  である。これは Suzuki and Suzuki (1965) の求めた浅発地震によるものとはほぼ同じである。余震の発震機構は単独で解の求められるものおよび単独で解が求められず重ね合わせによるもののいずれも本震と類似である。

実体波記録より断層パラメータを求める為、波の伝播経路における減衰係数  $Q$  値、破壊速度と  $S$  波速度の比  $V/V_s$  を求めた。

$Q$  値は、 $P$  波と  $S$  波のスペクトル比による方法および震源モデルを与えインバージョンによる方法 (Masuda, 1982) の 2 通りを行ない、平均値として  $Q_p = Q_s = 420$  を得た。破壊速度と  $S$  波速度の比は、 $P$  波および  $S$  波の震源速度スペクトルにおける卓越周波数の比  $f_p(p)/f_p(s)$  の平均値 1.24 より剪断型円形クラックモデル (Sato and Hirasawa, 1973) に基づき  $V/V_s = 0.6$  と求められた。

余震の断層パラメータの主な特徴は次の通りである。地震モーメント  $M_0$  が  $10^{20}$  dyne $\cdot$ cm 以下の地震では、 $M_0$  に依らず断層面積  $S$  は  $0.06 \sim 0.10 \text{ km}^2$  の範囲の値をとる。これにより、応力降下量  $\Delta\sigma$  と  $M_0$  の間には、

$$\log \Delta\sigma \propto 0.9 \log M_0$$

が成立する。 $M_0 > 10^{20}$  dyne $\cdot$ cm の地震について、 $S$  は  $M_0$  の関数となり、 $\frac{3}{2} \log S \propto \log M_0$  ; 即ち、これらの地震は  $M_0$  に依らず、 $\Delta\sigma \cong$  一定である。マグニチュード  $M$  と  $\log M_0$  の間には他地域の  $1 \leq M \leq 8$  の地震から得られた笠原 (1975) の式

$$\log M_0 = 1.5M + 16$$

に適合する。一方、 $M$  と  $\log S$  の相似則は、 $M$  が 3 以上の範囲でみられる。

#### [本震以前の微小地震活動と断層パラメータ]

本震後における特別観測の期間を除き、1969年～1970年の東北地方における微小地震の震央分布は必ずしも十分な精度ではないが、1975年以降におけるテレメータシステムで得られた震央分布と類似しており、これによれば本震付近は空白域と考えてよい。本震発生以前、余震域に隣接する赤石観測点では、 $S-P$  時間 1 乃至 5 秒の微小地震を 1 日平均 3.6 個/日観測した。これを 1970年 7 月 10 日の前震 (東北大学微小地震研究グループ, 1971) で分けると、その前では 2.7 個/日、その後 4.3 個/日と前震後において微小地震活動に増加の傾向がみられる。一方、これらのデータからマグニチュードの度数分布における  $b$  値を求めると、 $0.6 \sim 0.75$  の範囲であり、余震に対する  $0.8 \sim 1.0$  よりは明らかに小さい。本震前における先行的地震群の断層パラメータは記録の質の良好な本荘観測所のデータより求められた。これに先立って、余震に対するのと同様の手法により、 $Q$  値は  $Q_p = Q_s = 475$ 、破壊速度と  $S$  波速度の比は  $V/V_s = 0.7$  と求められた。データの分散値より、これらの値は余震と有意差が無い。得られた断層パラメータは余震とはほぼ類似の特徴をもつが次の点で異なる。

地震モーメント  $M_0$  が  $10^{20}$  dyne $\cdot$ cm 以下の地震は、 $M_0$  に依らず  $0.1 \sim 0.3 \text{ km}^2$  の範囲の断層面積

を有する。この範囲は余震よりやや広く、応力降下量  $\Delta\sigma$  と  $M_0$  の関係が

$$\log \Delta\sigma \propto 0.8 \log M_0$$

となる。上式の  $\log M_0$  の係数は余震に対する値より小さい。

### 〔応力降下量の分布とその解釈〕

震源過程に関する理論的研究や観測データによる研究によれば応力降下量は実効応力(断層面における静摩擦力と動摩擦力の差に該当する)にほぼ比例する量である。この為応力降下量は震源の断層面における破壊強度を反映すると考えられる。一方、破壊強度は Weibull 分布で表わされるような分布をなすことが知られており、確率論的には明らかにされている。

かくして、応力降下量を震源における破壊のメカニズムと関連し、調査する一手法として、分布型の研究を行なった。用いた地震は、地震モーメント  $10^{20}$  dyne $\cdot$ cm以下の微小地震である。

応力降下量  $\Delta\sigma$  の分布の特徴は、この対数、 $\log\Delta\sigma$  がほぼ正規分布することである。しかし、この近似は分布に下限が無いことから現実的ではなく、前述の Weibull 分布の近似である場合が多い。そこで応力降下量の対数が強度と比例すると考え、

$$\gamma^* = (\log \Delta\sigma - \epsilon) / (\nu - \epsilon)$$

なる応力降下量指数を導入し分布を調べた。この結果、先行的地震群と余震に関する指数  $\gamma^*$  の分布は明瞭に分離された。この分離を特徴づけるパラメータは Weibull の均一性係数  $\nu$  であり、前者に対し約 6、後者に対し約 3 が得られた。即ち応力降下量指数は、先行的地震群に対し、分散が小さく高い平均値を示し、余震では分散が大きく低い平均値を示すことを表わしている。

この手法を、青森県岩崎村付近の群発地震活動の初期に発生した最大地震前後および1978年宮城県沖地震の震源域近傍における先行的地震群(Saito and Masuda, 1981)および余震についても適用した(付表参照)。それによると、応力降下量指数の分布における均一性係数  $\nu$  は、先行的地震群に対し大きく、大地震以後の地震に対し小さい。これは秋田県南東部地震の解析結果と調和的である。一方、本論文において解析されたマグニチュードの度数分布における  $b$  値と均一性係数  $\nu$  の間には負の相関が見られ、応力降下量指数の分散が大きい時期には  $b$  値が大きく、その分散が小さい時期には  $b$  値が小さく求められている。

また、応力降下量指数の分布は岩石試料内における微小破壊のみかけ強度の分布とも類似である。即ち応力降下量指数の分布は媒質内応力分布(Mogi, 1962)又はみかけ強度分布との間に密接な関係のあることを示唆し、地震群の性質を大地震に先行する地震と余震又は余震的地震群に分離することを可能にすると考えられる。

### 〔おわりに〕

本論文では主として震源域に比較的近い一観測点によるデータを用いて解析した。今後は震源域に出来る限り近い多点による観測を行ない、精度の高い応力降下量を得ること、応力降下

量と破壊強度の関係を主目的とした岩石破壊実験を行なうこと等により解析精度の向上をはかることが重要と考えられる。

付表 応力降下量指数分布における均一性係数  $\nu$  およびマグニチュードの度数分布における  $b$  値

	$\nu$	$b$
秋 田 県 南 東 部 地 震		
1969年1月～本震	6.4	0.6～0.75
余 震	2.9	0.8～1.0
岩 崎 村 付 近 の 地 震		
最 大 地 震 前	9.4	0.64*
最 大 地 震 直 後	3.3	0.74*
最 大 地 震 後 1 日 経 過	2.5	0.79*
宮 城 県 沖 地 震		
1975年5月～1977年6月(M=5.8発生)	4.7	0.80
1977年6月～本震	2.0	0.84
余 震	2.7	0.75

\* 石本・飯田の  $m$  値より  $b=m-1$  を用いて算出

## 論文審査の結果の要旨

東北地方内部のほぼ脊梁山地に沿った地域は東北日本弧——日本海溝系の特別な造構造地帯であり、有史以来多くの被害地震が発生していたが、近代的地震観測による研究は殆どなくその発生過程についてはよく知られていなかった。本論文は1970年秋田県南東部に発生した地震について近代化された観測網によるデータを解析しその詳細な震源過程、前震・余震の分布およびその特徴を明らかにした。すなわち、本震の発震機構はP波初動分布S波方位分布により独立に求められ、その起震歪力の主圧力軸は、ほぼ水平面内で東西方向にあり、主張力軸がほぼ鉛直面内にある逆断層型で、かつ断層面は余震分布からN70°E方向へ47°の傾斜角で下がる面上に存在し、断層面の拡がりには長さ15km幅11kmと見積られた。これらの結果はレイリー波変位スペクトル密度、地殻上下変動量、実体波変位スペクトル密度等の観測データを充分満足するものであることが確認された。また本震の断層パラメータは、地震モーメント $1.4 \times 10^{25}$  dyne·cm、断層面積165km<sup>2</sup>、応力降下量136bar、平均的くいちがい量28cmの値を得た。

さらに余震・前震の性質を詳細に調べ、特に両者の応力降下量について注意深い吟味を行った。震源の断層面における破壊強度を反映すると考えられる応力降下量の対数は近似的にWeibull分布の場合が多くまた、破壊強度はWeibull分布で表わされることが知られているので、応力降下量の対数が破壊強度と比例すると考え、応力降下量指数を定義し前震・余震の分布を調べた。その結果、先行的地震群(前震)と余震に関する応力降下量指数は明瞭に区別され先行的地震群に対しては分散が小さく高い平均値を示し、余震では分散が大きく低い平均値を示すことが明かとなった。この手法を最近発生した青森県岩崎群発地震、1978年宮城県沖地震に適用したところ、秋田県南東部地震の解析結果とよく調和していることがわかった。以上の如く精度高い応力降下量を得ることにより地震群の性質について、大地震に先行する地震群であるか否かの判定が可能であることを見出した。

これらの結果は東北日本弧における特別な造構造地帯に関してその震源過程また地震群の性質の判定について重要な新しい知見を与え、地震予知の研究に多大の寄与を与えたものと考えられる長谷川武司提出の論文は理学博士の学位論文として適当と認める。