

浦河沖を震央とする地震について*

森江 光徳**・藤井 孝***

On the Earthquakes off the South Coast of
Urakawa, Hokkaido, Japan*

Mitsunori Morie** and Takashi Fujii***

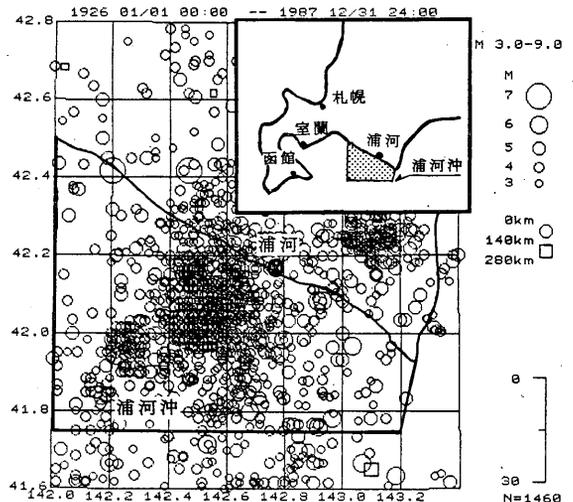
Possible maximum magnitude and recurrence interval of the earthquakes off the south coast of Urakawa, Hokkaido, Japan are investigated. The released elastic strain for the period from 1926 through 1987 is estimated by the seismic energy calculated from earthquake magnitudes. The variation of the released strain shows that the maximum magnitude is 6.9, which is roughly consistent with the actual maximum magnitude 7.1 (The Urakawa-Oki Earthquake in 1982). Other approaches by use of the mean dislocation estimated from the earthquake magnitude, and by use of concept of seismic volume give the maximums 7.8 and 7.9, respectively. The discrepancy may be due to the inappropriate assumption of rigidity and the inhomogeneity of the region, respectively. The probability of the earthquake occurrence with magnitude 4.8 or greater is estimated to be 56% within 100 days, and 87% within 300 days. The recurrence intervals are found to be both sixteen years and eight years.

§ 1. はじめに

ある地域における地震活動が規則性を有しているか否かは、地震発生の危険度を知り得る可能性があるという意味で、地震観測業務に携わる者にとって大きな関心事である。そこで浦河沖を震央とする地震によって解放される弾性歪と震源断層の平均くいちがい量を地震エネルギーや地震モーメントとの関係式から気象庁地震月報の地震マグニチュードを基に求め、その蓄積と解放の過程に何らかの規則性が見い出せるか調査し、併せて、地震発生間隔と確率および地震活動の周期性について調査した。

§ 2. データ

(1) 気象庁地震月報による1926年1月から1987年12月までのM 3.0以上の地震の震央分布を第1図に示す。また、第1図に示した地震の中で気象庁地震月報に用いる



第1図 浦河付近に発生したM \geq 3.0の地震の震央分布。期間は1926.1.1～1987.12.31。石川(1987)によるプログラムを利用して作成した。

* Received on Jan. 11, 1990.

** 浦河測候所, Urakawa Weather Station

*** 岩見沢測候所, Iwamizawa Weather Station

震央区域名「浦河沖」(S OFF URAKAWA)に発生した地震の規模別積算度数分布を第2図に示す。この図から直線で表わされる範囲はM 4.8以上である。したがって、以下で使用する地震のMの下限をM 4.8とした。

(2) 弾性歪に関係した量の算出について

地震エネルギーEはグーテンベルグ・リヒターの式

$$\log_{10} E = 1.5 M + 11.8$$

E: 地震エネルギー [erg]

M: マグニチュード

から求めた。

Benioff (1951) の指摘によると

$$\epsilon \propto \sqrt{E}$$

ϵ : 地震によって解放される弾性歪

E: 地震エネルギー

の関係がある。

菊地・吉田 (1983) は \sqrt{E} はある意見で、弾性歪に対応した量を表わしていると述べている。本調査でも \sqrt{E} を弾性歪とみなして取り扱った。

(3) 平均くいちがい量の算出について

断層運動としての地震の大きさを表わす量として地震モーメント M_0 がある。

Aki (1966) の地震モーメント (M_0) と平均くいちがい量 (U) の関係式

$$M_0 = \mu UA$$

M_0 : 地震モーメント [dyn・cm]

μ : 剛性率 [dyn・cm⁻²]

U: 平均くいちがい量 [cm]

A: 断層面積 [cm²]

と Kanamori (1977) の M_0 と M の関係式

$$\log_{10} M_0 = 1.5 M + 16.1$$

および断層面積 A と M の関係式

$$\log_{10} A = M + 6$$

から

$$\log_{10} U = 0.5 M + 10.1 - \log_{10} \mu$$

が導かれる。

北海道 (1983) によれば剛性率 $\mu = 5 \times 10^{11}$ dyn・cm⁻² としていることから

$$\log_{10} U = 0.5 M - 1.6$$

とした。

この式からそれぞれの地震について断層面上の平均くいちがい量を求めた。

(4) 本震 (Main shock) は M 6.5 以上、M 6 台前半の地震が比較的短い時間に数回発生した場合は、最初の地震とした。

§ 3. 弾性歪の推移

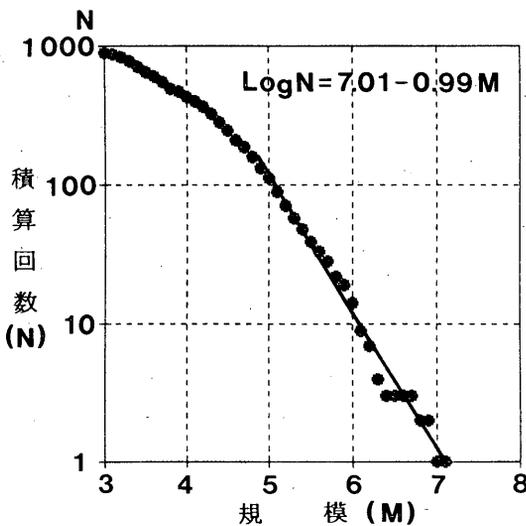
M 4.8 以上の地震によって解放される弾性歪の積算量の変化を第3図に示す。

弾性歪の解放量は1930年代と1950年代には本震発生後、対数関数的に解放され、ある時間が経過すると、次の本震まで徐々に弾性歪が解放されて中間付近に解放量がやや多い時期があるものの、巨視的にみると図中の▲印から本震直前までの間はほぼ直線的に弾性歪を解放しているとみることが出来る。Benioff (1951) が大規模な余震系列の弾性歪は対数関数的に解放されると指摘したことを渡辺・黒磯 (1967) は述べている。また、渡辺・黒磯 (1967) は、弾性歪がほぼ直線的に解放される期間はノーマルな地震活動の期間であることが示唆されると指摘している。

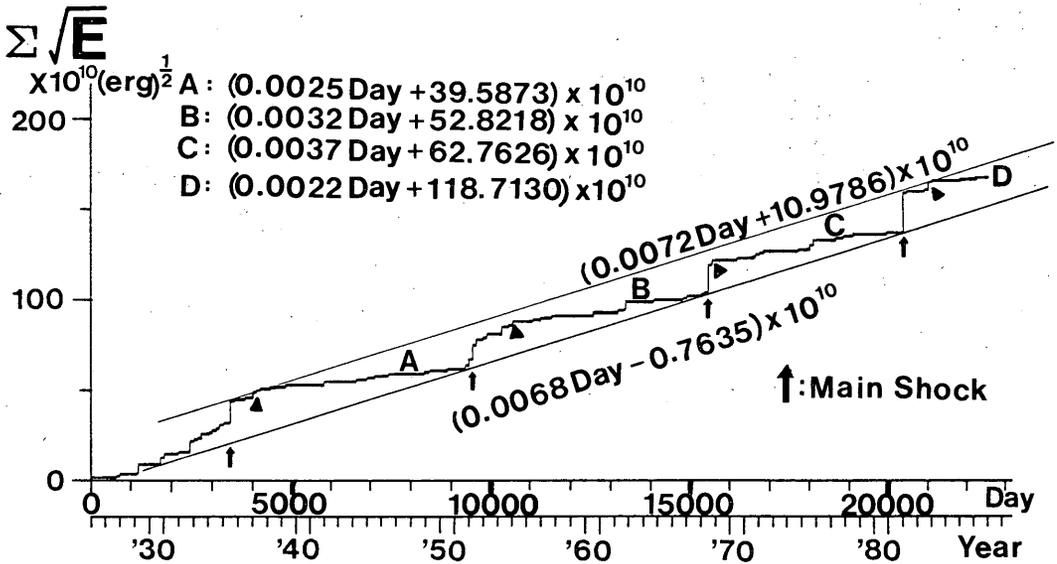
しかし、1960年代後半と1980年代には、本震発生後、対数関数的に解放される期間を経ず、すぐに直線的に弾性歪を解放する期間に移行する傾向がみられる。

それぞれの直線的な弾性歪の解放期間の回帰式の傾きは、ほぼ同程度とみられ、弾性歪の解放の形態が類似していることを示唆している。

また、1930年代の本震を除いたそれぞれの本震発生時期を直線で結ぶと、明瞭にこの線上(以下「下限傾向線」と記す)にのることがわかる。言いかえると、第3図の回帰式 A, B, C と下限傾向線との交点で本震が発生し



第2図 浦河沖を震央とするM \geq 3.0の地震の規模別積算度数分布。期間は1926.1.1～1987.12.31。N = 902。



第3図 浦河沖を震央とする $M \geq 4.8$ の地震によって解放される弾性歪 (\sqrt{E}) の積算図と▲印から次の本震直前までの間の積算点から最小二乗法によって求めた一次回帰式 (A, B, C, D) および弾性歪の上限と下限の一次回帰式と傾向線を示す。期間は1926.1.1~1987.12.31 (Day軸零は1926.1.1)。

ている。菊地・吉田 (1983) は、これら地震発生の規則性が、この領域における歪の蓄積の定常性を反映していると考えられるとしている。

一方、本震発生後の弾性歪の解放量を全て包含するような直線 (以下「上限傾向線」と記す) をひいて、下限傾向線との傾きを比較すると、ほぼ同程度とみることができる。すなわち、弾性歪の積算の推移は、2本の平行線の間に納まっている。坪井 (1968) は、このような性質は、しかるべき範囲の地域に対する起震応力の供給が時間的にはほぼ定常であるためと指摘している。したがって、上限、下限の傾向線の切片の差が、浦河沖における弾性歪の蓄積量の限界を示唆している。現在値と上限傾向線との間隔は、仮にいま地震が発生した場合に解放され得る弾性歪の最大限を示唆している。上限、下限傾向線の切片の差から算出される M は 6.9 であり、エネルギーに換算すると 1.4×10^{22} erg となる。期間中の M の最大は1982年浦河沖地震の 7.1 であり、エネルギー換算で 2.8×10^{22} erg となり、切片の差から算出された結果と調和的である。

§ 4. 平均くいちがい量の推移

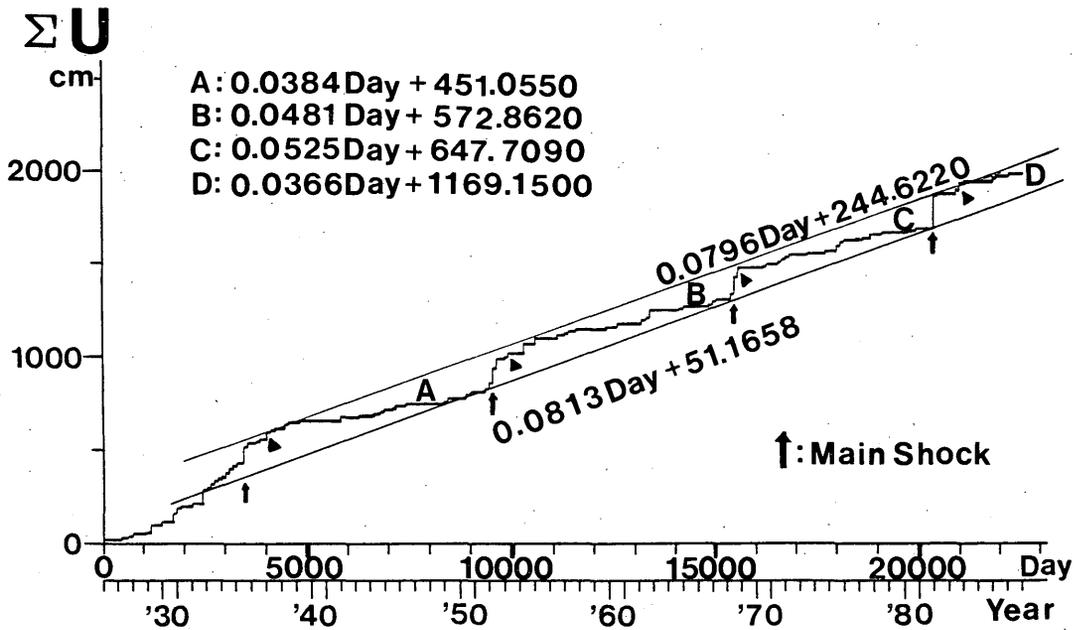
$M 4.8$ 以上の地震について算出した平均くいちがい量の積算量の変化を第4図に示す。第4図から前節とはほぼ同様に類推されるが、上限、下限傾向線の切片の差から

M を算出すると 7.8 となり、エネルギー換算で 3.2×10^{23} erg となる。期間中の M の最大 7.1 のそれと比べると1桁大きい値となる。剛性率は $5 \times 10^{11} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$ を用いたが、坪井 (1972) によれば剛性率は 5×10^{11} から 1×10^{12} としていることから、浦河沖全体を考えた場合の剛性率の選定に問題があったと思われる。

§ 5. 地震体積と M

浦河沖の面積を見積り坪井 (1972) の地震体積の考えにそって、浦河沖全体に歪量が蓄積し、一挙に地震としてエネルギーを解放する場合を想定した地震体積の模式図を第5図に示す。坪井 (1972) は、単位体積 (1 cm^3) の岩石が蓄え得るエネルギーは3000 erg としている。

浦河沖の震央区域の総面積を約5300 km^2 と見積って第5図の体積から蓄え得るエネルギー計算すると、 3.9×10^{23} erg となる。 M に換算すると 7.9 となり、前節の平均くいちがい量から算出された値 $M 7.8$ と調和的である。茂木 (1967) は破壊に伴う振動の振幅別頻度分布を種々の岩石を含む各種の材料について系統的に研究した結果、物質が不均一になるほど b 値が大きくなることを指摘した。また、森江・藤井 (1987) は、浦河沖を震央とする地震を、前兆的地震群と本震以降次の前兆直前までの地震群に分けた場合の相対的 b 値を比較したとき、前兆的地震群の b 値の方が大きいことを指摘している。



第4図 浦河沖を震央とする $M \geq 4.8$ の地震によって生じる平均くいちがい量の積算図と▲印から次の本震直前までの積算点から最小二乗法によって求めた一次回帰式 (A, B, C, D) および平均くいちがい量の上限と下限の一次回帰式と傾向線を示す。期間は1926.1.1～1987.12.31 (Day軸零は1926.1.1)。

b 値がMの小さい地震の数とMの大きい地震の数の比を表わしていると考え、ある時期からb 値が大きくなるということは、Mの小さい地震の数がMの大きい地震の数に対する割合が大きくなることを示している。また、活断層研究会 (1980) による浦河沖の海底の活構造の分布などから推測すると、地震体積の中の破砕化が促進され、歪量の蓄積に限界が生じやすくなることが示唆される。したがって、浦河沖を均一と仮定した地震体積から算出されたM 7.9は現実的でないと考えられる。

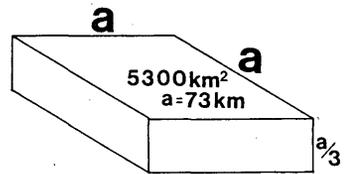
§ 6. 地震の発生間隔と発生確率

期間中M 4.8以上の地震が発生した場合、次の地震が発生するまでの間隔を日数で表わすと、0日から924日となった。間隔日数を対数幅でとった場合の地震の発生度数と累積相対度数を第6図に示した。

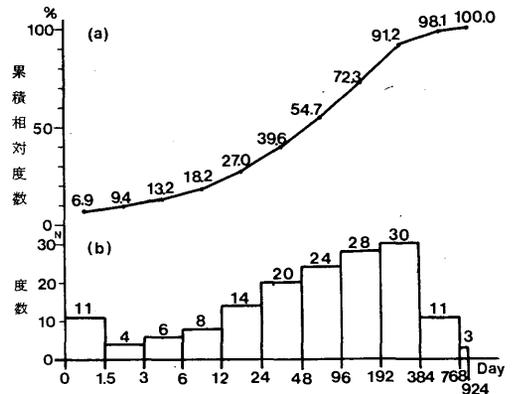
第6図(b)より192日から383日の階級に含まれる度数は30で最大となり、その後の階級での度数は減少する。

また、累積相対度数を示した第6図(a)より192日から383日の階級に達した段階で期間中の地震の91.2%が発生している。

第6図のデータを用いて、横軸はM 4.8以上の地震の発生間隔日数、縦軸は累積の度数で全体で1になるよう



第5図 浦河沖の震央区域の面積を見積り、坪井の地震体積から浦河沖で発生する地震の限界を求める模式図。



第6図 浦河沖を震央とする $M \geq 4.8$ の地震の発生間隔日数 (階級は対数) の累積相対度数分布(a)とヒストグラム (b)。期間は1926.1.1～1987.12.31。N = 159。

に正規化して発生確率を表わしたものを第7図に示す。

地震の発生状況の時系列を統計的処理した結果を前提条件として、前回のM 4.8以上の地震発生から経過日数に対する次回のM 4.8以上の地震の発生確率を表わしているとみることができる。このような更新過程のモデルを想定したとき、前回のM 4.8以上の地震発生から100日経過した時点で次回のM 4.8以上の地震発生確率は56%、300日経過で87%になるという結果になる。

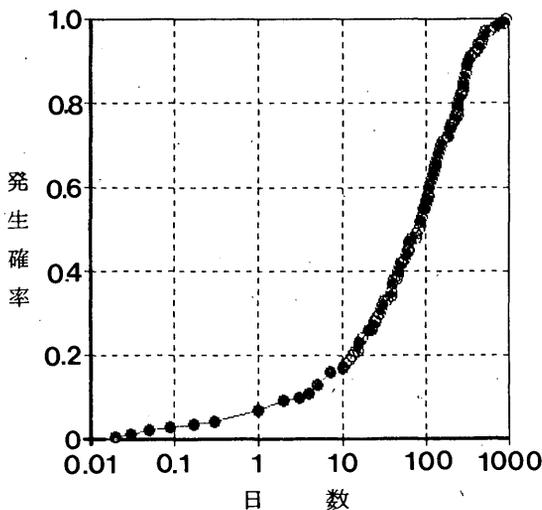
§ 7. 地震活動の周期性

M 6.0以上の地震発生の時系列を第8図に示す。第8図から1940年代を除いて、本震と次の本震の間にM 6前半の地震発生がみられるようである。そこで、M 4.8以上の地震から算出した平均くいちがい量を一年間合計した値を離散値とする時系列を考えた場合のフーリエスペクトルを第9図に示す。

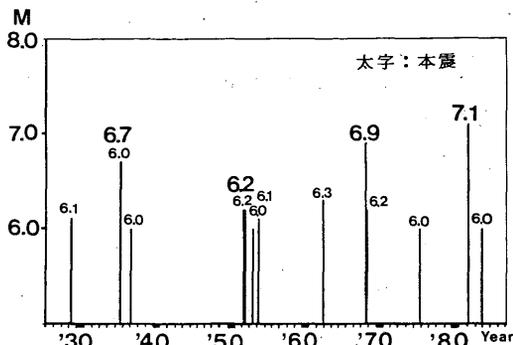
卓越周期は16年付近と8年付近にみられる。したがって、平均くいちがい量の年合計値の大きさが地震活動の消長を表現しているとみたとき、約16年と約8年の周期性が示唆される。

§ 8. 地震の偶発性

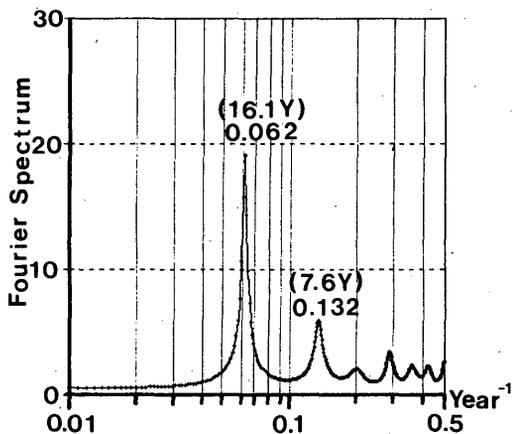
地震発生間隔の大きい方から加算した積算度数分布を第10図に示す。もし、地震が定常的かつランダムに発生しているならば、ひとつの直線に沿って分布するはずである。第10図は傾きの異なるふたつの直線に沿って分布しているようにみえる。宇津 (1975) は、時間間隔がふ



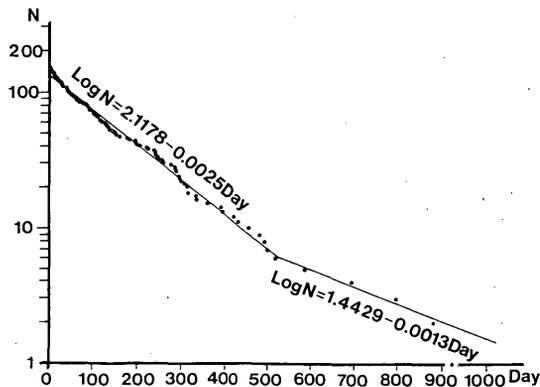
第7図 浦河沖を震央とするM \geq 4.8の地震の発生間隔日数と発生確率のモデル。



第8図 浦河沖を震央とするM \geq 6.0の地震発生の時系列。期間は1926.1.1~1987.12.31. N=14.



第9図 浦河沖を震央とするM \geq 4.8の地震から求めた年間の平均くいちがい量のMEM (Maximum Entropy Method) によるフーリエスペクトル。自己回帰式の項数: $2\sqrt{N} \div 16$, 期間は1926~1987. N=62. 大崎 (1987) によるプログラムを使用した。



第10図 浦河沖を震央とするM \geq 4.8の地震の発生間隔日数の積算度数分布。期間は1926.1.1~1987.12.31. N=159.

たつの直線で表わされるような地震の時系列のモデルとして、発生率の異なる2種類の期間が入りまじっており、それぞれの期間では地震がランダムに発生している場合が考えられると指摘している。

§ 9. まとめ

(1) 弾性歪と平均くいちがい量の推移から次のイ～ホがわかった。

イ. 本震発生後、対数関数的に推移し、ある時間経過すると次の本震まで、巨視的にみてもほぼ直線的に推移する期間がある。しかし、1960年代後半の本震発生後、対数関数的期間を経ずに、本震発生によって弾性歪が一挙に解放されて、次の本震まで巨視的にみてもほぼ直線的な期間に移行する傾向がみられる。

ロ. 巨視的にみてもほぼ直線的に推移する期間の一次回帰式の傾きは、ほぼ同程度であることから、歪量の解放が一定でノーマルな地震活動の期間であることが示唆される。

ハ. 本震発生時期はいずれも下限傾向線上にあり、巨視的にみても直線的に推移する期間の一次回帰線の交点に当たることから、歪量の蓄積の定常性を反映していると思われる。

ニ. 上限、下限傾向線の傾きがほぼ同程度であることから、浦河沖の地域に対する起震応力の供給が時間的にほぼ定常である可能性がある。また、切片の差は浦河沖を震央とする地震のMの限界を示唆し、弾性歪から算出されたM 6.9は、期間中のMの最大であった浦河沖地震のM 7.1と調和的である。

ホ. 現在値と上限傾向との間隔は、仮にいま地震が発生した場合の地震のMの最大値を示唆する。

(2) 地震の発生率は発生間隔が192日から383日経過した時点で91.2%となった。

(3) 年間の平均くいちがい量の合計からみた地震活動の卓越周期は16年付近と8年付近にみられた。

(4) 浦河沖では地震発生率の異なる2種類の期間が混在していることが示唆され、それぞれの期間ではランダムに発生していることが考えられる。

謝 辞

この報告にあたって、ご校閲ご指導をいただいた気象庁地震火山部地震津波監視課斎藤康永主任技術専門官、

札幌管区気象台技術部観測課地震津波火山監視センター灰野博三主任技術専門官、函館海洋気象台測候課田中圭介技術専門官（現気象庁地震火山部地震津波監視課技術専門官）ならびに浦河測候所三浦照夫所長（現新千歳航空測候所所長）をはじめ同所職員の皆さんにお礼を申し上げます。

参考文献

- 石川有三 (1987) : PC 9801 を使った地震活動解析プログラム, 気象庁地震火山技術通信, 63, 1-23.
- 宇津徳治 (1975) : 関東地方の地震と飛騨地方の稍深発地震の相関について, 地震2, 28, 303-311.
- 大崎順彦 (1987) : 地震のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 43-111.
- 活断層研究会 (1980) : 日本の活断層一分布図と資料, 東京大学出版会, 1-363.
- 菊地邦教, 吉田明夫 (1983) : 山梨県東部の地震活動, 東京管区地方研究会誌, 97-98.
- 坪井忠二 (1968) : 新・地震の話, 岩波書店.
- 坪井忠二 (1972) : 地球の構成・増補版, 現代の自然観2, 岩波書店, 197-232.
- 北海道 (1983) : 昭和57年浦河沖地震災害記録, 34-39, 87-90.
- 茂木清夫 (1967) : § 7.3 破壊実験と地震, 地震20巻記念特集号, 164-165.
- 森江光徳, 藤井孝 (1987) : 浦河付近の地震について, 札幌管区気象研究会誌, 121-122.
- 渡辺晃, 黒磯章夫 (1967) : 紀伊半島西部の局発地震の二, 三の性質について, 地震2, 20, 187-189.
- Aki, K. (1966) : Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964. part 2, Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum, Bull. Earthq. Res. Inst., 44, 73-88.
- Benioff, H. (1951) : Earthquakes and Rock Creep, Bull. Seism. Soc. Amer., 41, 31-69.
- Kanamori, H. (1977) : The energy release in great earthquakes, J. Geophys. Res., 82, 2981-2987.