



Korea及びその周辺域の地震・火山活動とアジア東縁のテクトニクス : 地震活動に現われる潜在構造

大内, 徹
張, 泰雨
黄, 清華
久保, 篤規
原田, 智也

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 6:211-227

(Issue Date)

2002-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.24546/00317634>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00317634>



Korea 及びその周辺域の地震・火山活動とアジア東 縁のテクトニクス—地震活動に現われる潜在構造

Seismic and volcanic activity in and around Korea and recent tectonics of the eastern margin of Asia

大内 徹¹⁾
Toru Ouchi
張 泰雨²⁾
Tae-Woo Chang
黄 清華³⁾
Huang Qinghua
久保篤規⁴⁾
Atsuki Kubo
原田智也⁵⁾
Tomoya Harada

概要：東北中国、Korea および西南日本と海溝の地震活動の間には有意な相関が認められる。西南日本、Korea から東北中国にかけて広く分布する浅い地殻のバックグラウンド地震活動の分布パターンはこの地域はかなり連続的であることを示している。中国地方西部から北九州にかけての地震の P 軸分布は Korea とほぼ同様なパターンを示す。また、バックグラウンド地震活動の分布は線・帯状構造等、この地域の潜在的構造を現しており、過去における造構運動をよく反映しているものと考えられる。また、Korea から南北両方向に広く見られる地震活動静穏域はそれらの地域における地殻の高温状態を反映したものと考えられ、この地域にはマントルの upwelling のようなものが考えられる。

キーワード：バックグラウンド地震活動、潜在構造、地震活動静穏域、マントルの upwelling、地震活動間の相関

1. はじめに

前論文(大内・張,2002)で東北中国、Korea と西南日本の地震活動に相関の見られること、地震活動の静穏域が Korea の北部と南部を中心とした広い範囲に広がるというを報告した。本報告では新しい資料をもとに Korea 域の地震・火山の活動について報告する。また、西南日本内帯域から大陸にかけての地殻内で発生しているバックグラウンドの地震活動に着目することによりアジア東縁のテクトニクスについて議論する。

2. 地殻内バックグラウンド地震の発生

西南日本の地震活動はサブダクションに伴うものが圧倒的に多い。しかし、西南日本から Korea、東北中国にかけての浅い地震活動(International Seismological Center, ISC カタログ、資料1)に注目すると、幾つかの興味ある特徴を見て取ることができる(図1)。こうした地震は、定常的に発生しているもので、バックグラウンドの地震活動というべきものである。そのほとんどの規模は小さいが、この地域共通のいわば潜在的な地殻活動を反映していると考えられる。このような地震の発生は地殻内の応力場と温度、地下水等の状態による。大陸の同士の衝突や沈み込みといったプレート間の相互作用による広域水平応力場やマントルの upwelling 等による応力場の変動の

他に、地震波等の弾性的変動波をはじめとした様々な要因による変動、揺らぎが存在しそれらがバックグラウンド地震の発生させていると考えられる。特に、地殻内の応力場の揺らぎと温度構造は重要である。陸域や海域で常時発生している小さいバックグラウンド地震活動に関しては、広域の活動に時間的なクラスタリング、同時活性化現象のあることが見出されている (Ouchi,1993 ;Ouchi et al.,1993)。これは地殻内の応力場が揺らいでいること、その波長が非常に長いことを示している。こうした地震活動は地殻内の弱い地点や過去のテクトニクスに由来する構造線等に沿って起こりやすいものと予想される。

バックグラウンド地震の発生は地殻の応力場の揺らぎだけでなく温度の状態にもよる。地下水の状態も基本的には温度に規定されると考えられる。室内実験の結果によると岩石の強度は圧力と温度に依存する。定常状態ではクリープを起こす応力は

$$\sigma_{\text{creep}} = (\dot{\epsilon}/A)^{1/n} \exp(Q/nRT)$$

で与えられる (Kirby and Kronenberg,1987)。R は気体定数、A と Q、n は定数。 σ_{creep} は歪率 $\dot{\epsilon}$ が一定の場合強い温度依存性を示し、温度の増加とともに減少する。温度が大きいとクリープが起こりやすくなり、延性的になる。いずれにしても、温度が高ければ地震は発生しにくくなることが考えられる。Korea の南北域を中心に広がる地震活動の静穏域も、地殻やマントルの高温状態に起因しているということが予想される。

3. バックグラウンド地震の分布

西南日本内帯から対馬・鬱陵海盆 (Ulleng-Tsushima Basin)、Korea 南東部にかけて浅い地震活動が連続的に分布しているようである。この活動は Korea を中心とした南北に見られる地震活動静穏域をはさんで東北中国に続いている。最近の Korea Meteorological Agency (KMA、資料 2) と気象庁 (JMA、資料 3) の震源決定精度はかなり良い。図 2 は KMA による浅い地震の分布図であり、図 3 は JMA による分布図である。もちろん海側の震源に関して精度は期待できないが KMA と JMA の分布図と比較してみると、海側にもたくさん広がっていることがわかる。1998 年一年間に限ってみても、ほぼ同様な状況がみとれる (図 2 下図)。中国地方の日本海沿岸に沿って九州の雲仙の先まで続く線状に集中した地震活動が注目される。この活動を除けば地震活動は西南日本内帯から対馬・鬱陵海盆にかけてかなり連続的に分布が広がっており、そのまま Korea 域に至るようである。ISC のデータをプロットしたものを図 4 に示す。対馬・鬱陵海盆から日本海にかけた海域は厚い海洋性の地殻構造をしているが (Kim et al.,1994)、この図からもかなりの地震活動があることがわかる。図 5 は 1940 年に壱岐西方で発生した地震 (M=6.8) の震央とその JMA 震度分布を示す (気象要覧 1941, p963)。西南日本内帯から Korea にかけての広い一帯で有感であった。海域の震源の精度は良くないと思われるが、以上のような特徴は KMA と JMA、ISC のそれぞれのカタログによる分布に明瞭に現われている。

4. 線・帯状の地震活動

西南日本内帯に見られる南西-北東方向の浅い地震の線・帯状構造は興味ある存在である。図 6 に JMA による最近約 4 年間の浅い地震の分布を示す。このような構造は大学等のローカル観測網でも見られる (資料 4)。島根県中部から山口県にかけての地域では細い線状をなしている。1997 年の山口県北部地震 (M 6.3 ; 右横ずれ型) もこの線に沿うように起こっている。顕著な特徴として島根県中部付近で折れ曲がっている点が注目される。鳥取県より東の方ではこの帯状構造はあまり明瞭ではない、また後述するように発生する地震のメカニズムも西側とは少し異なるが、過去における北丹後地震等の大きな活動の配列を考慮するとこの帯状構造は東に続いているように見える。この線・帯状構造は国東半島から北九州にかけて地震活動のギャップをはさんで雲仙の先まで帯状に伸びている。九州ではこの帯状の活動帯とならんで南東に別の地震活動の集中帯がある。南東側の活動帯は大分・

熊本構造線と呼ばれる中央構造線の延長に相当する構造線 (Kamata and Kodama,1994)に沿っている。しかし、よく見るとほぼ東北東-西南西方向の線・帯状構造のようなものも見られる、この構造は ISC のカタログによる分布図によく現われている (図 4)。雲仙や大山、阿蘇等の第 4 紀の火山がこれらの帯に沿うように分布している点も注目される。このバックグラウンド地震活動に現われた線・帯状構造は、この地域における何らかの構造線を示しているように考えられる

大分・熊本構造線に沿った線状の地震分布を除き、阿蘇火山を含めた第 4 紀に形成されたと考えられている Hohi volcanic zone (HVZ : Kamata and Kodama,1994) を中心に地震活動の静穏域が広がっている点も注目される。

5. 応力と歪場

歪や地震のメカニズムの圧縮主応力軸 (P 軸) の方向は Korea では東北東-西南西である (佐藤・崔,1999)。歪速度の大きさは山陰の中国地方とはほぼ同程度で、日本の他地域の 3 分の 1 程度である。しかし、佐藤・崔 (1999) は山陰やその沖合の地震のメカニズムは西北西-東南東で Korea 南部とは有意に異なり、対馬・鬱陵海盆に何らかの構造的不連続があるとしている。図 7 は最近までの地震のモーメントテンソル解析 (Kubo et al.,2002; Kim and Kraeva,1999) により求めた P 軸の方位分布である。これによると、九州北部から山口県にかけた西南日本内帯では P 軸の方位分布はほぼ東西から東北東-西南西で、Korea と大体同じである。いずれにしても P 軸の方向分布は Korea と東北中国 (佐藤・崔,1999 参照) とほぼ同じであり、この地域の応力場は連続的であるように見える。しかし、島根・鳥取県付近のメカニズムは西北西-東南東に有意にずれている。

国土地理院の歪の変動パターン (資料 5) を見ると、北九州から山口、島根県の中ほどまでの日本海側の変動はかなり小さい。九州では前述の地震活動の帯状構造付近を境に変動が有意に大きくなる。東では島根県付近から東に変動が大きくなり、乱れた変動状況が見て取れる。GPS 測位から見た西南日本の変動 (福岡固定) も、変動の小さい九州北部から帯状の地震活動帯付近を境に大きく変化するようだ (資料 5)。山口・島根県のあたりではこの辺の事情は必ずしも明瞭ではないが、四国そして中央構造線を越えた太平洋側の大きな変動と西南日本の内帯の日本海側は異なる動きをしている。いずれにしても面白いのはこのような不連続構造の見られる付近に線・帯状の地震活動が存在することであり、以上のことからもし応力場に何らかの不連続構造があるとすれば Korea 南部と山陰の間ではなく、北九州から島根県中部にいたるこの線・帯状の地震活動帯付近になるものと思われる。

6. 地震活動静穏域の存在

Korea 域を中心に南北の広範囲に地震活動の静穏域が広がる (図 1)。南方では地震活動の活発な沖縄トラフに沿って、北側の大陸にかけた広い範囲で見られる。このような静穏域は ISC のカタログ (資料 1) だけでなく、中国地震局 (資料 6) や最近の Korea の地震分布図 (図 2) にも現われている。この静穏域は第 4 紀の火山とは相補的な分布をしている。Korea 南部を除き、大体熱流量の高い地域 ($>60\text{mW/m}^2$) と似た分布をしており (Wang,2001 参照)、温泉の分布域 (資料 8) とも相関が見られる。日本でも高温地域で地震活動が低いということが見出される。実際、関東・甲信越にかけた地域では火山フロント周辺域にこの傾向が著しく見られ (溝上他,1986)、前述の HVZ 域周辺と霧島、桜島火山周辺域もその例である。他の地域でも火山の周辺では、マグマ活動に直接関連するような地震が近傍に発生しているものの、一般的に同様な現象が見られる。日本の中部地方での地震活動と熱構造に関する研究で Li et al. (1989) はスラブに沿った地震でも高温の 40~60km で地震がほとんど発生していないことを示し、高温状態のため地震が発生しないのではないかとしている。したがって、プレート内部で特別な力学的不連続構造が考えにくいということを考慮すると、この地域に広く広がる静穏域にも何らかの形で地殻やマントルの高熱構造が関与していることが考えられる。

7. 中国・Korea と日本の地震の相関性

前論文で17世紀から18世紀にかけての時期と1960年代から海城・唐山地震までの一連の活動以降の東北中国・Korea・西南日本の各地域の活動の相関性について議論した。その結果これらの地域の地震活動には有意な相関があことがわかった。19世紀については東北中国、Koreaとも地震活動は総じて静穏であったようだ。そこで、本節では20世紀初頭から60年代の中国東北部の活動が始まるまでの期間について検討する。

1900年以降のKorea域では余り大きな地震は発生していない。20世紀前半の様子、東海、南海地震の前後はどうであったのであろうか。Zhao et al. (1990)はこの期間でもやはり、東北中国、Koreaおよび日本の地震活動に相関が認められるとしている。図8はPark (1969)による有感地震の時間変化を示す。20世紀になってからもKorea域ではMが6を越えるような大きな地震は余り起こっていない。しかし、際だって規模は大きくなくとも有感地震、ある程度の大きさのある地震が1910年頃から1940年ごろまで多数発生していたことがわかる。智異山 (Ssanggye-Sa) 地震 (M=5.1) が発生した1936年をピークに1940年頃から有感地震数が減少していることも明瞭に見て取れる。この地震はKorea南部の広い範囲に大きな震動を生じ (隼田・篠原,1937)、この地域としては大変にインパクトのあるものであった。注目すべきは1944年の東南海 (M=7.9)、1946年の南海地震 (M=8.0) 後に再び地震活動が増加し、その後次第に収まっていったようである。1964年以降のISCのデータをみるとその後1978年までMが4を越えるような地震は発生していない。資料7やKim (1980)の資料からも、後述する1944年の誘発地震以降1978年頃まで、Koreaとその周辺域ではMが5越すような地震は、遠く離れた海域を除いて、発生していないことがわかる。したがって、東海地震の発生に先立ってKorea域では、際だって大きな地震は発生していないものの地震活動が活発であったことになる。興味あるのは、東南海地震の発生を期に地震活動が活発化している点である。特に面白いのは1944年に発生した誘発地震であるがこれについては次節で検討する。

東北中国でも19世紀末頃から東南海、南海地震の発生する頃まで地震活動が活発であった (図9、資料7)。このことは1904年以降から東南海地震の発生まで (図10) と1950年以降 (図11) の西南日本・Korea・東北中国の地震活動の様子に現われている。東南海地震以前西南日本内帯、Koreaから東北中国におよぶ広範囲で大きな地震が多数発生している。南海地震以降これらの地域では大きな地震は発生していない。したがって東南海、南海両トラフの大地震の発生に先立つ数十年にわたって東北中国からKorea域にわたる広い範囲で地震活動が活発であったことになる。

8. 遠地誘発地震現象

1944年12月19日にKorea・中国国境近傍の西朝鮮湾で発生した地震 (M=6.8, 資料7) は特に注目に値する (図12)。この地震は1944年12月7日の東南海地震 (M=7.9) のわずか12日後に起こっている。20世紀この地域では際だって大きな地震といえ、相当な広範囲で有感であった (資料7)。19世紀以降Korea域ではMが5を越える地震は非常に少なく、6を越える地震はほとんど発生していない。従って、これは今日の地震学の知識からすると遠地誘発地震と解釈すべきものである。

誘発地震に関しては米国のLanders地震 (1992年; M=7.3) の際の例がよく知られている (例えば、Lomnitz, 1996)。興味あるのは誘発地震の分布がBasin and Range域に集中していることである。Basin and Rangeに関していえばマンツルのupwellingが考えられている地域である (小林, 1987 参照)。他の例も火山地帯に非常に多い。台湾でもこの誘発地震現象が顕著なようだ (Wen et al., 1996)。面白いことに台湾東部域もきわめて高い熱流量の地域が存在しマンツルのupwellingが考えられている (Chang, 1998)。したがって、この誘発地震の発生もKorea地域の特異な地殻・マンツル構造を反映している可能性がある。

9. 議論

本論では Korea 域を中心に西南日本から東北中国にかけて地震活動について議論した。東北中国、Korea と西南日本の地震活動の相関性については、前論文に続いて 20 世紀前半の東南海・南海地震前後についても確認された。したがって、中国大陸東北部、Korea の地震活動と日本の西南日本内帯とトラフの地震活動には有意な相関があると結論することができる。しかも、興味あることは、トラフの大地震活動に先立つ数十年前から東北中国や Korea で地震活動が活性化することである。さらに面白いのは東北中国やトラフの巨大地震の発生は、これら全域の地震活動の様相を変化させることである。このような結果は今後日本の地震活動を考えていく上で Korea と中国大陸の影響を考慮していかなければならないことを示している。

この地域のテクトニクスを理解していく上でバックグラウンドの地震活動は重要である。そのほとんどは規模の小さい地震で、最近の観測で初めて見えてきたものといえる。今まであまり重視されてこなかったが、こうした小さい地震の分布はこの地域の様々な地質学的特徴を反映しているようだ。その発生には大陸の衝突や沈み込みによるプレート間の相互作用からの影響の他、アジア東縁域ではマントル深部からの upwelling の効果が大きな影響を及ぼしているはずである。その発生には応力、温度や地下水等の状態が関与しているものと考えられる。特に応力状態と温度状態は重要である。地下水等他の要因も基本的にはこの二つの要因によってその状態が規定されると考えられるからである。実際、熱流量の高いところは高温の温泉の分布域と相関があるように見える(資料 8)。地殻内には地震の発生等様々な要因による変動が発生しており応力場にかなりの揺らぎが存在している。こうした地殻内の応力や温度構造と応力の揺らぎの兼ね合いでバックグラウンド地震活動が発生しているものと考えられる。

こうした地殻内の浅いバックグラウンド地震活動は西南日本から日本海側の沖合、対馬・鬱陵海盆、Korea 域にかけて連続的に分布していることがわかる。JMA、KMA とも海域であるこの付近の震源精度は良くないと考えられる。しかし、ISC、KMA および JMA のカタログによる地震分布にもこうした特徴が現われている。特に注目されるのは西南日本内帯の南西・東北方向の線・帯状の地震活動である(図 6)。中国東部の郟戸断層帯に見られるような東北方向の構造線や日本の中央構造線と、少し異なるものの同様なセンスであり、過去に起こった造構運動(例えば、Otuska,2002)の痕跡、潜在的(pre-existing)構造を反映しているのではないかと考えている。

Korea と西南日本とは海域をはさんでいるので、ともすれば不連続的なイメージを抱きがちである。しかし、バックグラウンド地震の分布やこれまでの測量や最近の GPS 観測から得られた西南日本の変形状況と圧縮主軸方向の分布から考えると西南日本内帯はむしろ Korea・大陸域と連続的である。力学的不連続は考えるとすればむしろ九州北部から、帯状の地震活動帯付近になるのではないかと。また地震のメカニズムも北九州から島根県中部くらいまでは Korea と同じセンスであり、島根県中部あたりを境に主圧縮軸の方向が有意にずれている。東の力学的不連続構造を考えるとするとこの辺になるのではないだろうか。

2001 年芸予地震(M=6.4)では Korea 南部沿岸一帯で有感であった。改良メルカリ震度 MMI で、釜山やウルサン等で 4、ポハン、マサン、チャンオン等で 3、大邱、ウルチン、ドンヘ等沿岸部の広範囲で 2 が観測され、意外なほど大きく揺れたといえる。このことも山口から北九州にかけて地域が南東 Korea と連続的な構造を支持しているように思える。しかし、面白いことに 2000 年鳥取県西部地震では Korea では無感であった。地震の P 軸方向の分布がこの付近で異なることを考え合わせると、島根県中部あたりに何らかの力学的不連続構造があるのかもしれない。いずれにしても Korea から北九州・山口、島根県中部の地域は応力場や変形状況から考えて一体の地域としてとらえられるのではないかと考えている。

現在 Korea 域で何故地震活動が低いのか、何故大きな地震が発生しないのかは大きな enigma と言ってよい。そ

して Korea 域を中心に広く広がる地震活動の静穏域の存在は何を意味しているのだろうか。この問題を理解していく上でこの地域の地殻の温度構造を考えていく必要がある。地震の発生に対しては温度が非常に重要であり、地震活動の静穏化の要因としてまずこの温度の効果が考えられるからである。この意味で Korea 域の火山活動はこの地域のテクトニクスを理解していく上で重要である。北辺の白頭山は現在活動中であり、過去における噴火の強力なことは良く知られている(大内・張,2002)。1002年の済州島の噴火は「…雲霧晦冥地動如雷凡七晝夜始開霽山高可百餘丈周圍可四十里無草木烟霧 …」と報告されており(原,1931)、Korea 域の火山活動はかなり活発である。必ずしも地震静穏域とは一致しないものの、中南部に見られる高い熱流量の分布(資料9)からすると、この地域の上部マントルは全体的に高温状態にある可能性がある。

また、日本でも一般に火山周辺の高熱地域で地震活動が低いということから考えると、この地域に広く広がる静穏域にも何らかの形でのマントルの高熱構造の関与が予想される。米国の Basin and Range との類似性であり、容易に考え付くのはマントルの upwelling である。実際 Korea 南方の九州西方にはマントルの upwelling が考えられている(Seno,1999)が、Korea はこの upwelling の延長上にある。Korea 域にみられる地震活動の特異な性格はマントル・地殻のこうした特殊な構造に起因するのではないかと考えられる。

さらに、興味あることは、この地域に発生する地震の震動が大きく異常に広い範囲に広がることである(図10)。隼田(1936)の資料にも南部から中部で発生した地震の震動の例がいろいろ報告されている。最近の1997年に南東部で発生した $M=4.3$ の地震の例では MM 震度 5 の範囲がおおよそ半径 150km に及んでいる(資料10)。Korea 中・南部域の高い熱流量等(資料9)を考慮すると考えにくい現象である。単純に考えると熱流量が高いところでは、速度が遅くて地震波の減衰が大きい。実際、中部日本ではそのことが確認されている(Li et al.,1989)。したがって、震動を増幅するような何らかのメカニズムがある可能性があり、この地域の地殻・上部マントルの特異な状況を反映しているものと考えられる。また、このことはこの地域でも M が 5、6 を越えるような地震が発生した場合大変な震動が発生し、状況によっては甚大な被害を発生する可能性があることを示している。

本研究では今まで余り省みられてこなかったバックグラウンド地震活動に注目した。その結果西南日本内帯域から大陸域にかけてこの地域の潜在構造、すなわち深層構造が見えてきた。今まで余りにもサブダクションの構造が支配的で、以上のようなことはほとんど注目されてこなかったといえる。ほとんどは M が 3 以下の非常に小さい地震活動が特徴的であり、最近の観測で初めて見えてきたものといえる。実際、ISC のデータや JMA による 1980 年から約 17 年間の $M \geq 3$ の地震の分布をみても(図13)、線・帯状構造等はそれほど明瞭には現われていない。

大陸側に視点を移してアジア東縁のテクトニクスを見直してみようというのも本論の目的でもあった。Korea を中心とするアジア東縁に対する一連の研究で見えてきたのは、むしろ日本と大陸域との連続性である。アジア東縁のテクトニクスを理解するためには大陸とのつながりを念頭においた過去における造構運動の履歴、歴史的制約と現在のプレート運動や upwelling 等のマントルダイナミクスを理解していく必要がある。いままで、歴史的経過といった側面が余りかえりみられてこなかったのではないか。最近のトモグラフィーの結果からも、サブダクションの陸側だけでなく海側にもマントルの高温部が見えており(Phys.Earth Planet.Int., Editorial, Special Issue: Process and consequences of deep subduction, 127, 1-7,2001)、サブダクションとそこでの上部マントルの構造との相互作用が議論されるようになってきている。サブダクション域から大陸にかけてのテクトニクスに関しても、いろいろな意味で発想の転換が必要なのではないか。そういう意味でも、バックグラウンド地震活動に見えてきた過去の履歴に由来すると考えられる潜在構造は現在のマントルダイナミクスとサブダクションを理解していく上でひとつの手がかりを与えてくれるのではないかと考えている。

10. まとめ

20世紀前半の東南海、南海地震の発生にいたる期間、東北中国、Korea および西南日本と海溝の地震活動の間には有意な相関が認められる。西南日本、Korea から東北中国にかけて広く分布する浅い地殻のバックグラウンド地震活動の分布パターンにはこの地域の地学的特徴が現われている。このような地震活動からみる限り、西南日本と Korea から大陸にかけた地域はむしろ連続的であるように思える。また、線・帯状構造等、現在のバックグラウンド地震活動の分布パターンは過去における造構運動を何らかのかたちで反映しており、この地域の潜在的構造を表しているものと考えられる。また、Korea を中心とした南北に広く見られる地震活動静穏域はそれらの地域における地殻の高温状態を反映したものと考えられ、マントルの upwelling のようなものの存在を支持していると考えられる。

文献

- 1) Chang,C.F., Focal mechanism of earthquakes and their relationship to the seismotectonics of plate collision region in Taiwan, Doctoral Thesis, Kyoto University, 1998.
- 2) 隼田公地, 地震, 朝鮮気象三十年報, 第13章, 朝鮮総督府観測所, 朝鮮印刷, p61-79,268-274,1936.
- 3) 隼田公地・篠原, 昭和十年地震概況, 朝鮮総督府観測所年報, 21-25,1937.
- 4) 原口九萬, 済州島の地質, 朝鮮地質調査要報, 第10巻 1,1-34,1931.
- 5) Kamata,H., and Kodama,K., Tectonics of an arc-arc junction: an example from Kyushu Island at the junction of the southwest Japan Arc and the Ryukyu Arc, Tectonophysics, 233,69-81,1994.
- 6) Kim,S.G., Earthquakes of the Korean Peninsula and its vicinity (seismic risk of the Korean Peninsula and plate tectonics), Bulletin of IISSE, 18,101-126,1980.
- 7) Kim,S.G., and Kraeva,N., Source parameter determination of local earthquakes in Korea using moment tensor inversion of single station data, Bull.Seism.Soc.Am., 89,1077-1082,1999.
- 8) Kim,H.J., Park,C.H., Hong,J.K., and Jou,H.T., A seismic experiment in the Ulleund basin (Tsushima basin), southwestern Japan sea (East sea of Korea), Geophys.Res.Lett., 21,1975-1978,1994.
- 9) Kirby,S.H.,and Kronenberg,A.K., Rheology of the Lithosphere: Selected topics, Rev.Geophys., 25,1219-1244,1987.
- 10) 小林洋二, Hot region テクトニクスと大地震の連動性, 月刊海洋科学, 19, 385-389, 1987.
- 11) Kubo,A.,Fukuyama,E.,Kawai,H., and Nonomura,K., NIED seismic moment tensor catalogue for regional earthquakes around Japan: quality test and application, Tectonophysics, in press, 2002.
- 12) Li,X., Furukawa,Y., Nagao,T., Uyeda,S.,and Suzuki,H., Heat flow in central Japan and its relations to geological and geophysical features, Bull.Earth Res.Inst., Univ.Tokyo, 64,1-36,1989.
- 13) Lomnitz,C.L., Search for a world wide catalogue for earthquakes triggered at intermediate distances, Bull.Seismol. Soc.Am., 86,293-298,1998.
- 14) 溝上恵・中村功・萩原弘子・千葉平八郎・吉田満, 地震学会講演予稿集, No.1,A25,1986.
- 15) Otsuka,T., Mesozoic accretionary process and deformation of eastern Eurasian margin, abstract of Workshop on "Tectonics and evolution of continental crust in Asia", S1-5,2002.
- 16) Ouchi,T., Pattern dynamics of seismic activity in and around Japan, Proceedings of the CRCM '93, Kobe, Dec., 123-128, 1993.
- 17) 大内徹・張泰雨, Korea 地域の地震・火山活動と東アジアのテクトニクス, 京都大学防災研究所, 研究集会 13-K, 26-40,2002.

- 18) Ouchi,T., Kubo,A., Kasahara,J., and Koresawa,S., Wide regional activation of seismic activity revealed by the OBS observation, Proceedings of International Symposium on "Continental Earthquakes", Beijing, China, IASPEI Publ.Ser.for INDR, 334-342,1993.
- 19) Park,S.H., Felt earthquakes in Korea, J.Korean Met.Soc., 5,45-67,1969 (in Korean).
- 20) 佐藤裕・崔在和, 韓国における地殻水平歪みと地震活動, 地学雑誌, 108,31-44, 1999.
- 21) Seno,T., Syntheses of the regional stress fields of the Japanese island, The Island Arc,8, 66-79.1999.
- 22) Wan,Y., Heat flow pattern and lateral variations of lithosphere strength in China mainland: constraints on active deformation, Phys.Earth Planet Int., 126,121-146,2001
- 23) Wen,K.L.,Beresnev,I.A., and Cheng,S.N., Moderate-magnitude seismicity remotely triggered in the Taiwan region by large earthquakes around the Philippine sea plate, Bull.Seism.Soc.Am. 86,843-847,1996.
- 24) Zhao,Z., Oike,K., Matsumura,K., and Ishikawa,Y., Stress field in the continental part of China derived from temporal variations of seismic activity, Tectonophysics, 178,357-372,1990.

資料

1. International Seismological Center, On-line Bulletin, [http:// www.isc.ac.uk /Bull](http://www.isc.ac.uk/Bull), Internatl.Seis.Cent.,Thatcham,United Kingdom, 2001.
2. Korea Meteorological Agency, <http://www.kma.go.kr/ema/eindex.htm>.
3. 地震カタログデータベースの紹介, 鶴岡弘, 地震研究所広報, No.22, 1998.
4. 日本の地震活動ー被害地震から見た地域別の特徴ー, 総理府地震調査研究本部地震調査委員会編, pp395,1999.
5. 国土地理院, <http://cais.gsi.go.jp/HIZUMI/hizumi.html> ; <http://mekira.gsi.go.jp/hendou/-new.html>.
6. 中国地震震央分布図 1970-1989, 中国地震局分析予報中心編.
7. 东北地震史料輯覧, 吳戈・房賀岩・李志田・方明远等編, 地震出版社, pp222, 1992 (in Chinese).
8. 中国岩石圈動力学地図集, 中国地図出版社, 新華書店北京發行所, 1989 (in Chinese).
9. 韓国資源研究所, 地熱資源調査研究, 1996 (in Korean).
10. 韓国資源研究所, 梁山断層を考慮した設計基準地震の再評価最終報告(第二巻), 韓国電力公社, 1998 (in Korean).

著者:1) 神戸大学都市安全センター、助教授 2) 慶北大学地質学部、教授 3) 北京大学地球物理系、助教授 4) 防災科学研究所、研究員 5) 神戸大学自然科学研究科、大学院生

1964/01/01-1999/03/31 ($H \leq 50$ km, $M \geq 3.0$)

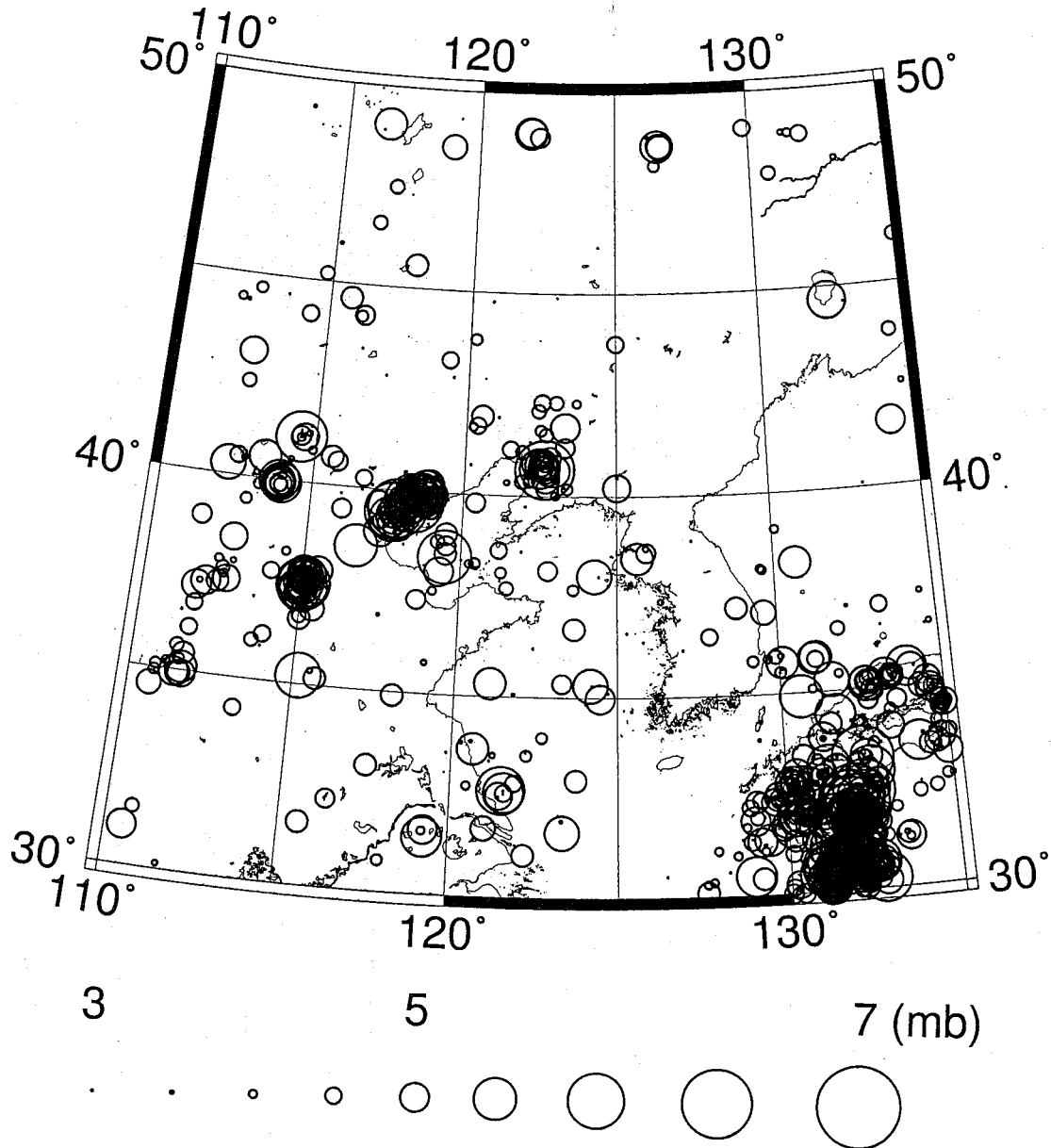


図1 Korea 周辺域の地震の分布。ISC カタログ (資料1) による。Korea 南北域を中心に地震活動の静穏域が周辺の広範囲に広がっている点に注意。

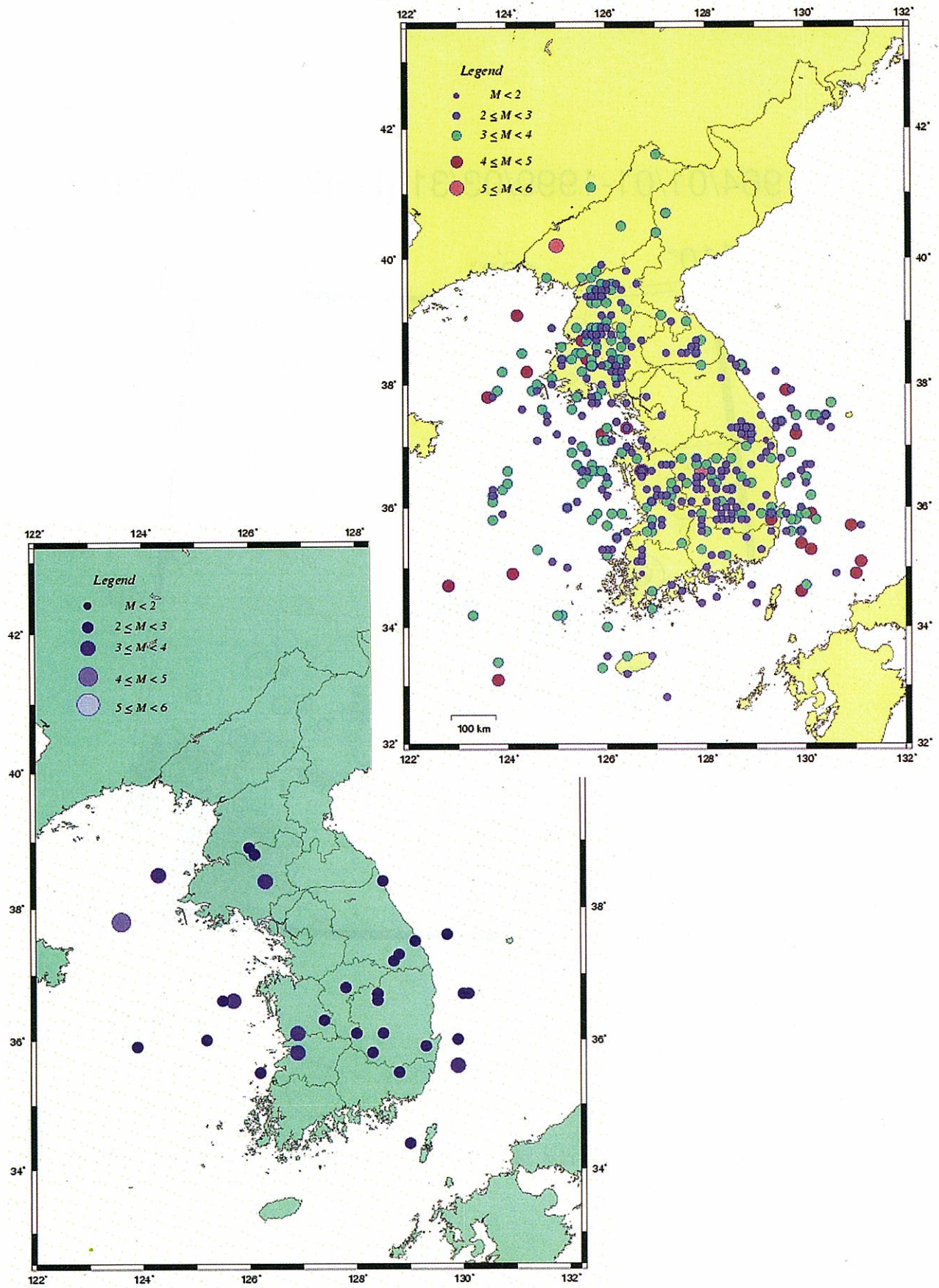


図2 上) 1978-2001年のKorea地域の地震の分布($M \geq 2$)。下) 1998年一年間の地震の分布。KMA(資料2)による。

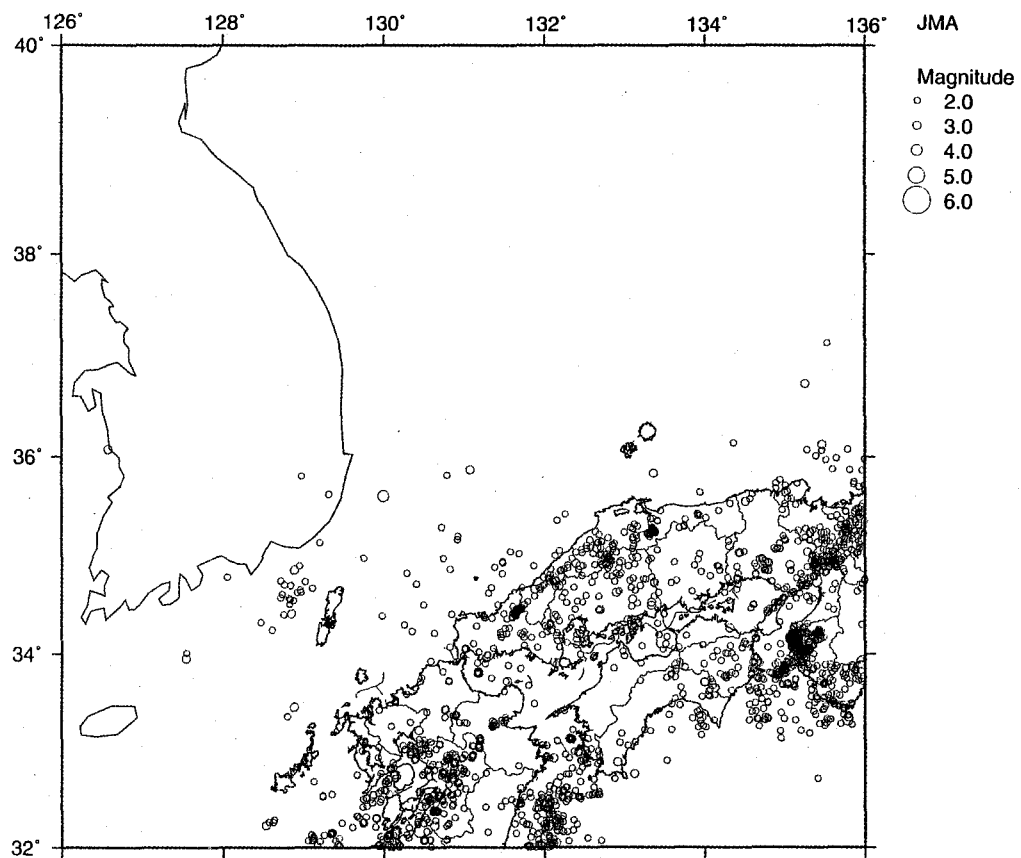
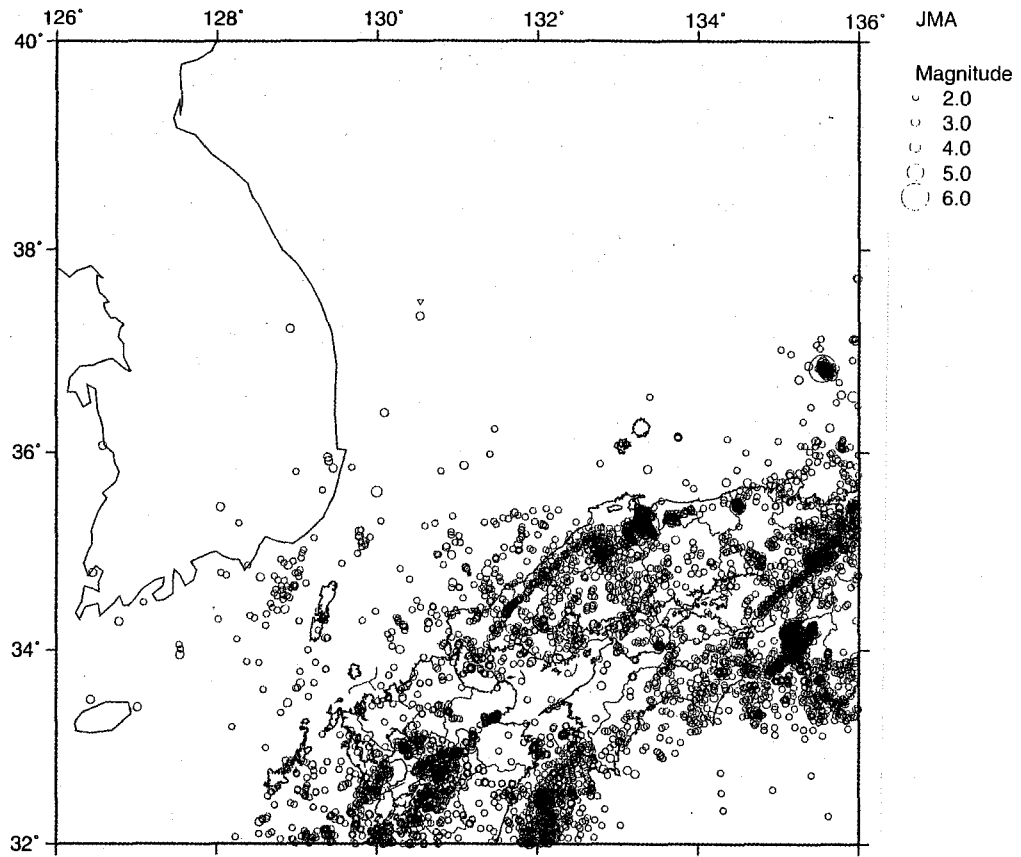


図3 上) 1997/10/01-2001/07/31 の地震の分布($M \geq 2$)。下) 1998年1年間の分布。JMA (資料3) による。

1964/01/01-1999/12/31 ($H \leq 35 \text{ km}, M \geq 4.0$)

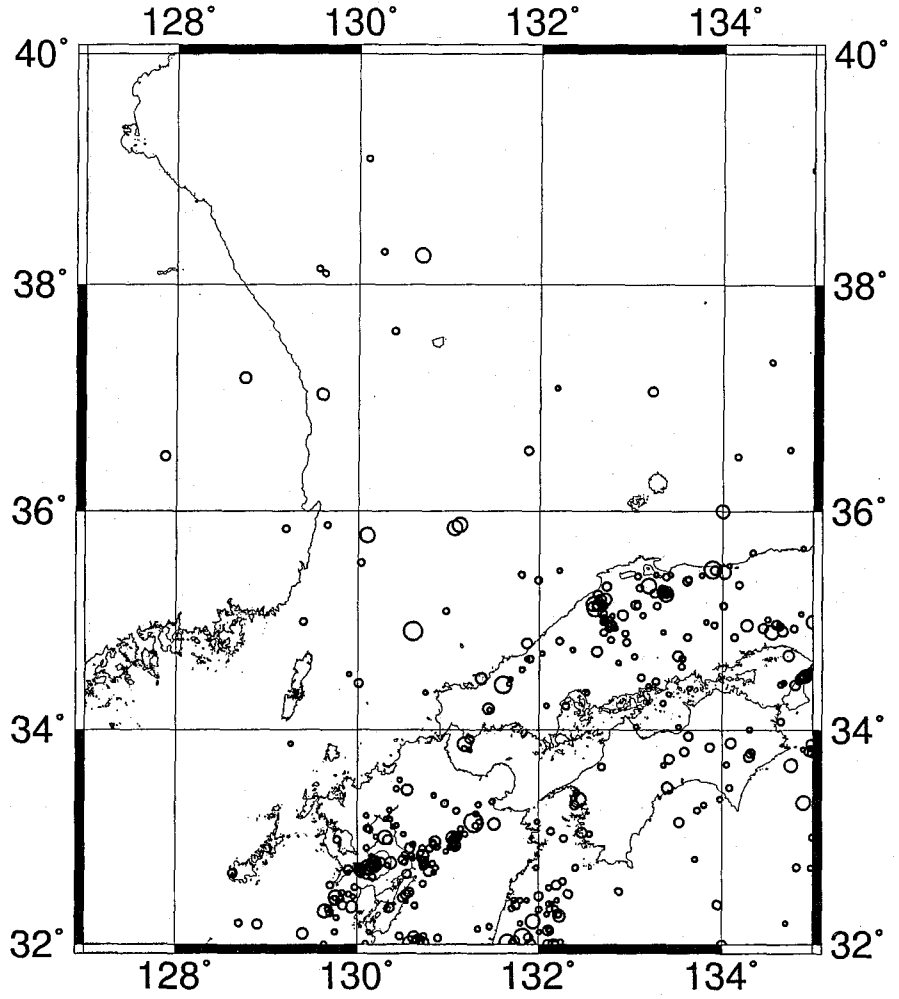


図4 ISCのカタログによる地震の分布。西南日本からKoreaにかけた対馬・鬱陵海盆に地震が連続的に分布している。

Magnitude \cdot \circ \bigcirc \bigcirc
4.0 5.0 6.0 7.0

Aug. 14, 1940 (M=6.8)

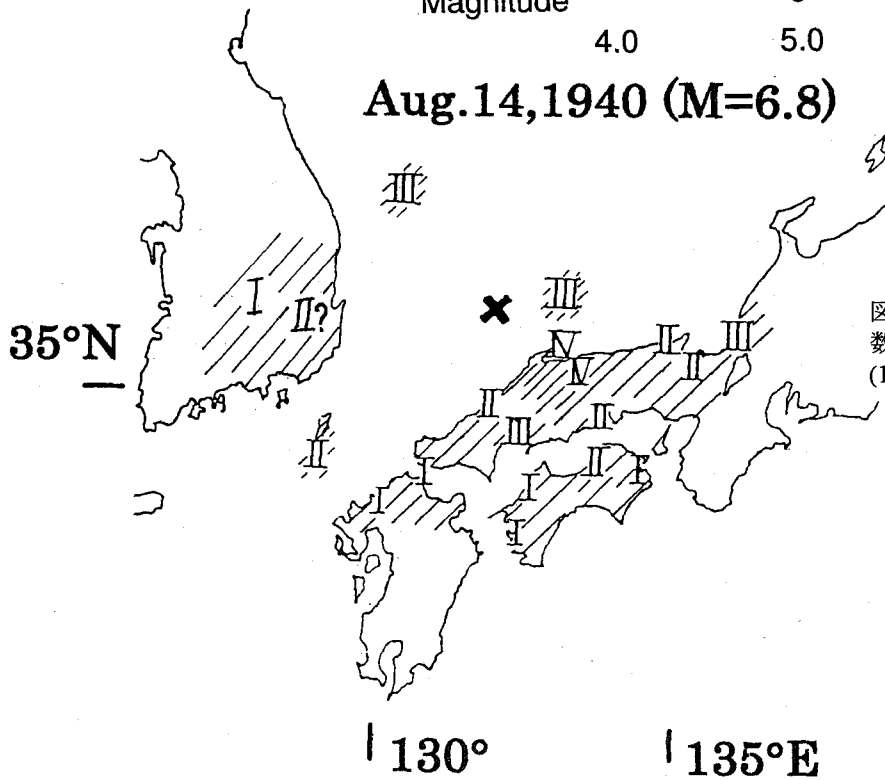


図5 隠岐西方地震。図中のローマ数字はJMA震度を示す。気象要覧(1941)の図に加筆。

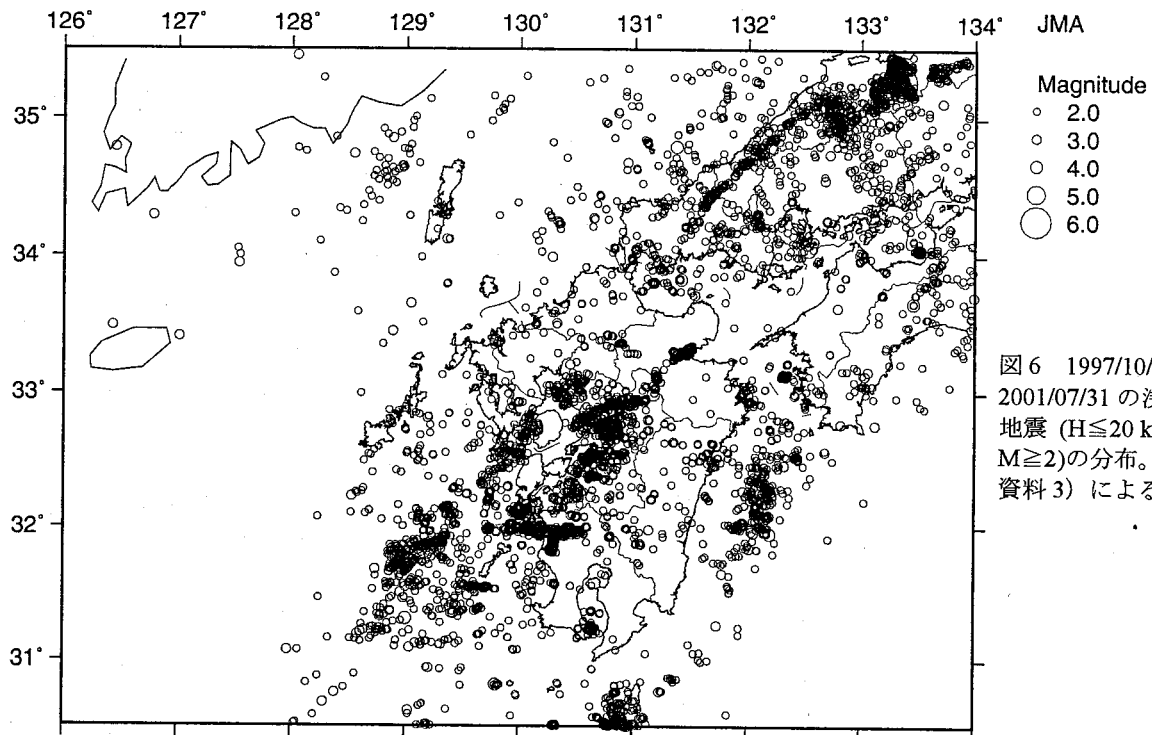


図6 1997/10/01-2001/07/31の浅い地震 ($H \leq 20$ km, $M \geq 2$)の分布。JMA資料3)による。

P-axis distribution around Korea and SW Japan

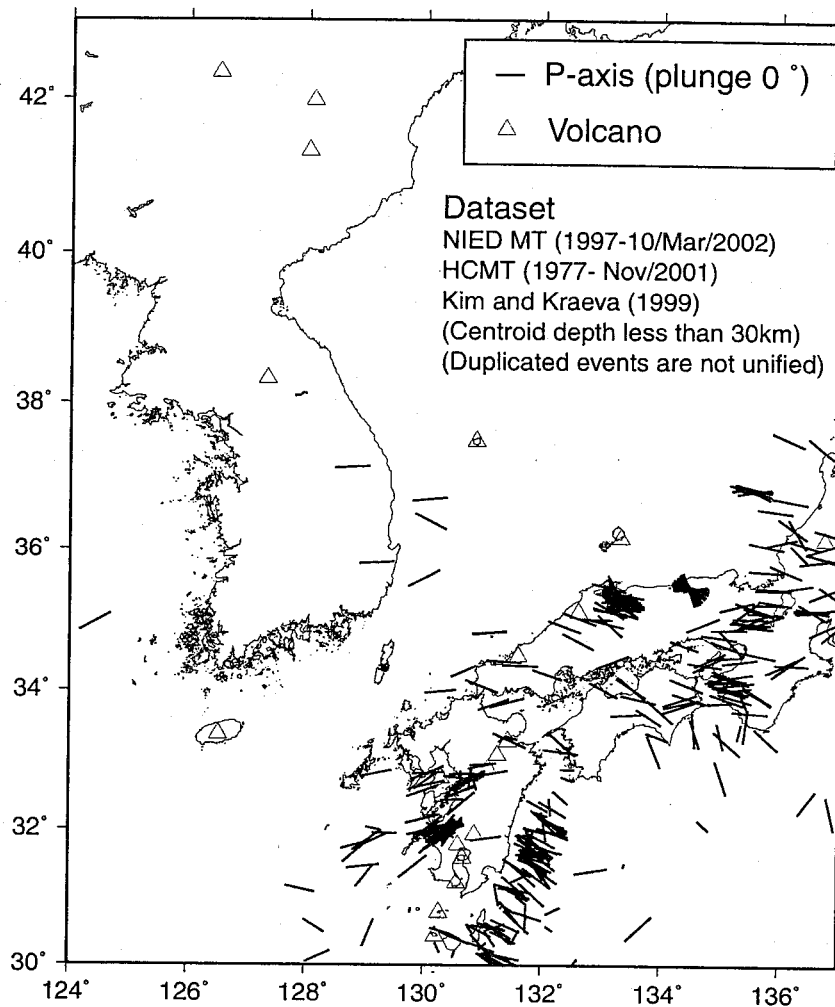


図7 浅い地震 ($H \leq 30$ km)の圧縮主応力軸方位分布。モーメントテンソル解析による。データは防災科学研究所のFREESIA観測網、Harvard CM及びKim and Kraeva (1999)による。

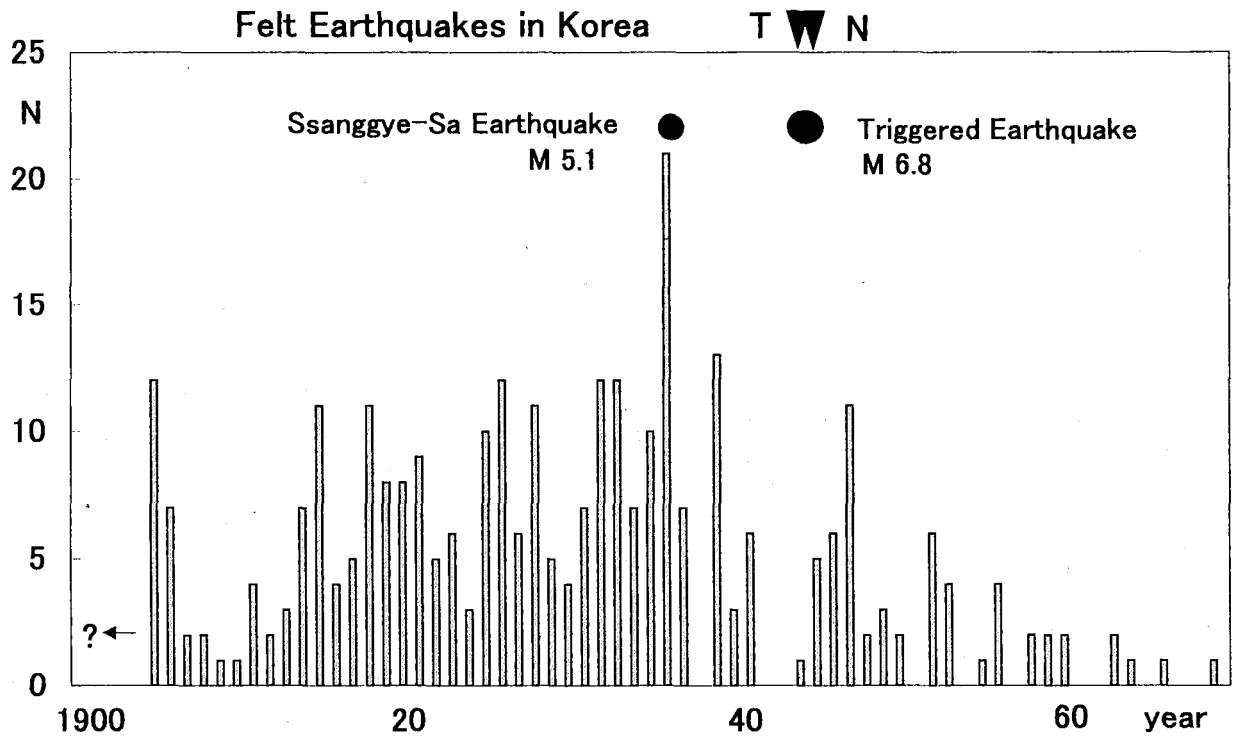


図8 Koreaにおける有感地震の時間変化(Park,1969)。黒三角印のTとNは東南海地震と南海地震の発生を示す。黒丸は顕著な地震の発生を示す。

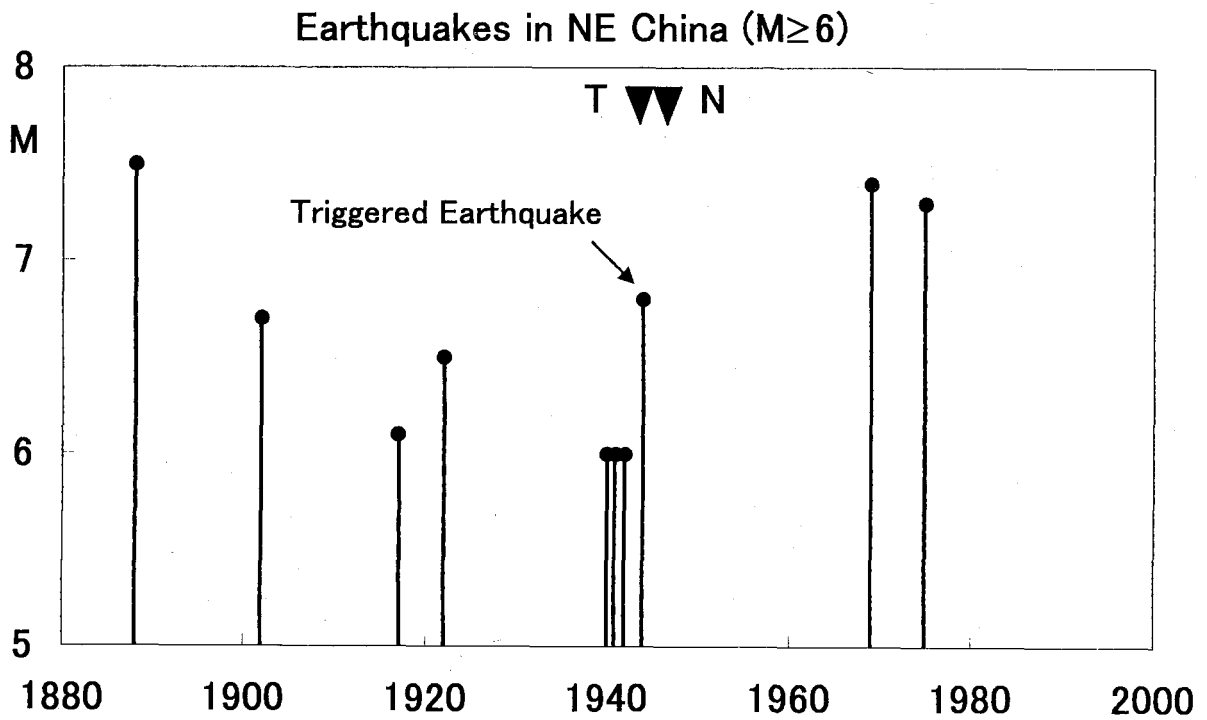


図9 東北中国における大きな地震の発生 ($E119-135^{\circ}$, $N38-53.5^{\circ}$)。1976年唐山地震は含まれていない。資料7による。黒三角印のTとNは東南海地震と南海地震の発生を示す。

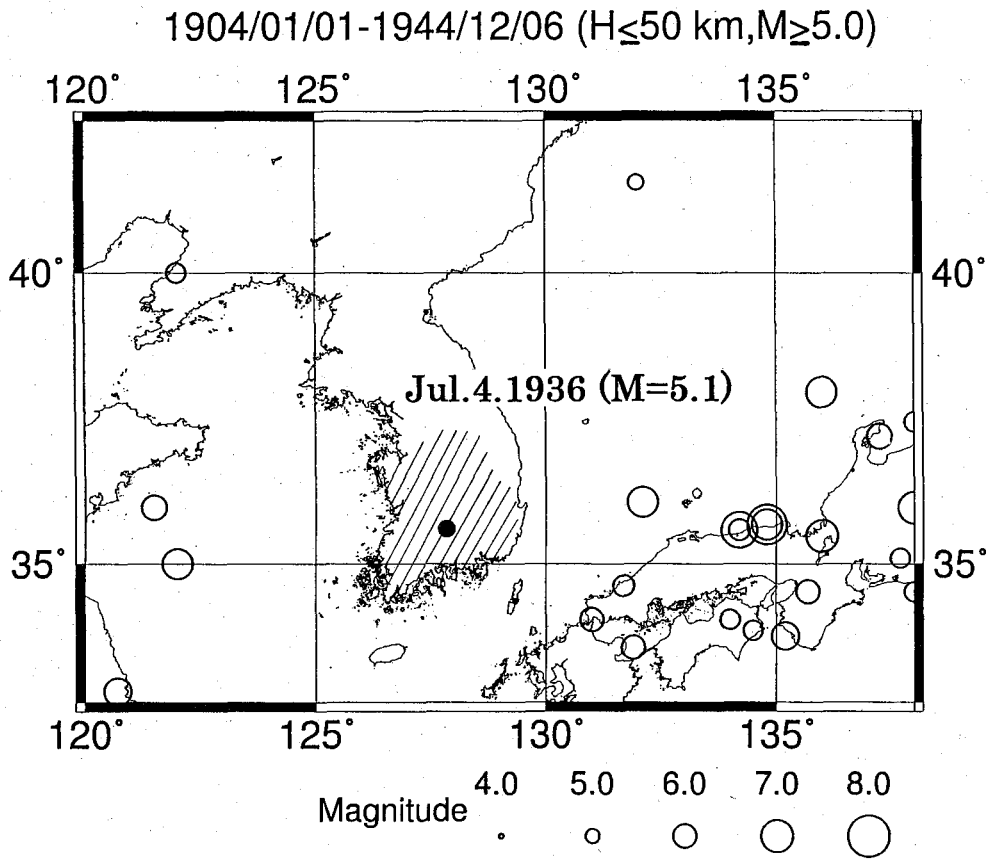


図 10 1944 年東南海地震以前の地震分布 (白丸)。ISC カタログ(資料 1)による。黒丸は智異山(Ssanggye-Sa)地震の震央を、斜線部は有感の範囲を示す。Korea の地震は強い震動を広範囲に発生させるのが特徴である。

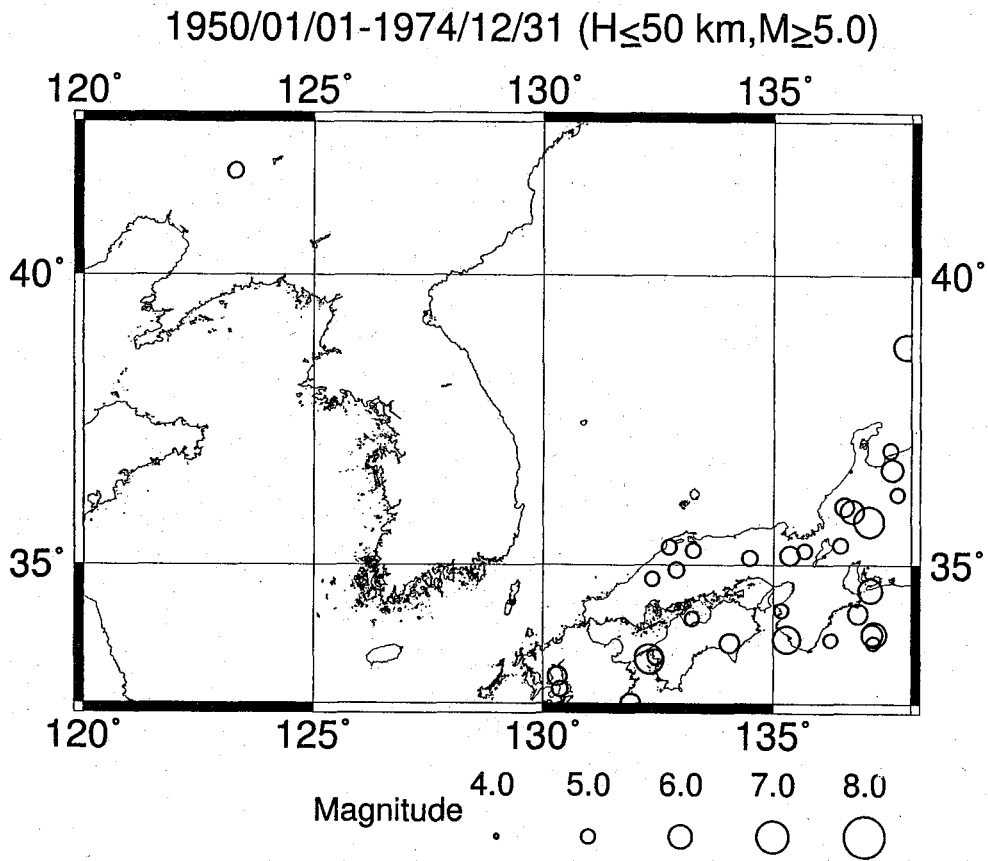


図 11 1950 年以降の地震活動分布 (白丸)。ISC カタログ(資料 1)による。

1944/12/06-1949/12/31 ($H \leq 50 \text{ km}, M \geq 5.0$)

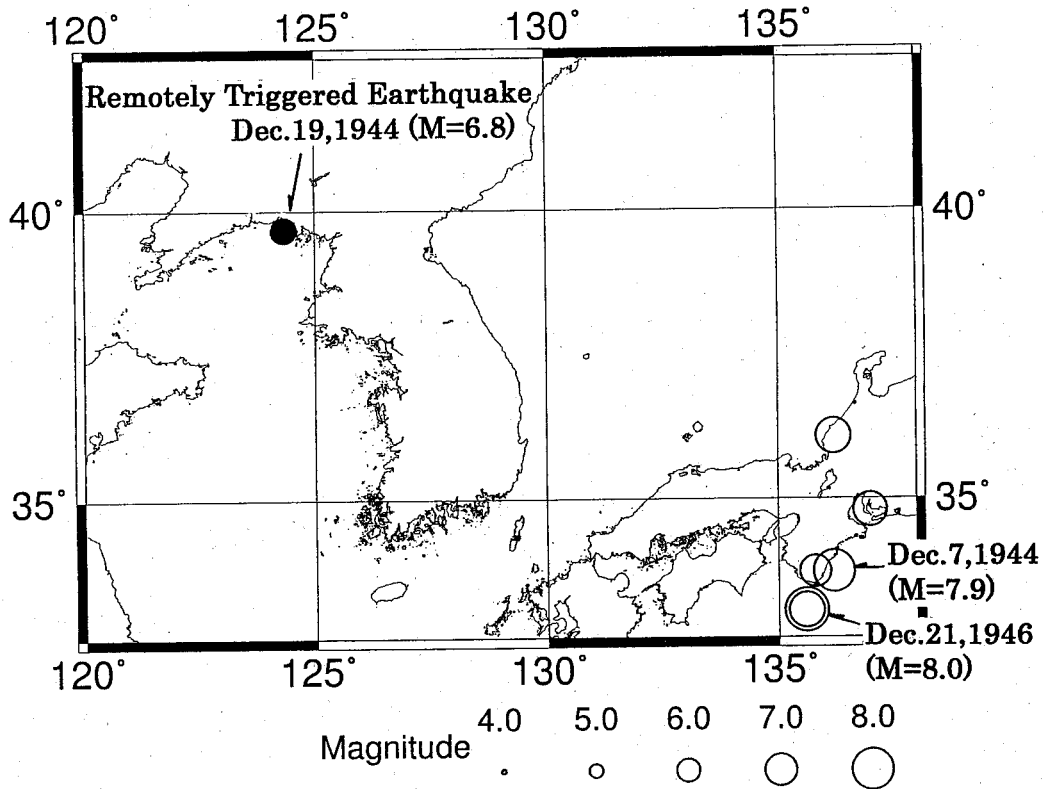


図12 1944年東南海地震以降約5年間に発生した地震の分布(白丸)。ISCカタログ(資料1)による。黒丸は直後に発生した誘発地震(震源位置は資料7による)。

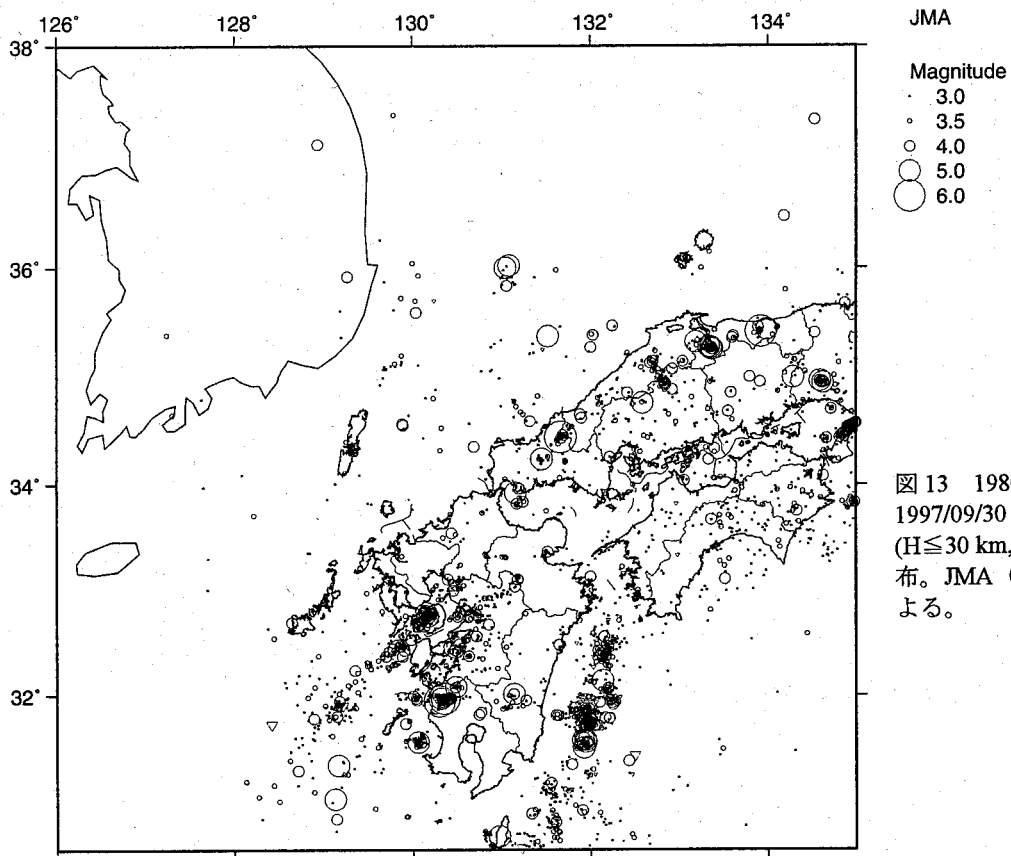


図13 1980/10/01-1997/09/30の浅い地震($H \leq 30 \text{ km}, M \geq 3$)の分布。JMA(資料3)による。

Seismic and volcanic activity in and around Korea and recent tectonics of the eastern margin of Asia

Toru Ouchi
Chang Tae-Woo
Qinghua Huang
Atsuki Kubo
Tomoya Harada

Abstract

Significant correlations are found among seismicity in the inner region of Southwest Japan, the western part of the Japan Sea, Korea and Northeast China. Present seismicity in this region is characterized by shallow small earthquakes that distributes almost uniformly, which can be regarded as background seismicity. The P-axis distribution of earthquakes in and around North Kyushu shows a similar pattern with that in Korea. Distribution of earthquakes reveals linear trends in Southwest Japan that might reflect the pre-existing tectonic structure in this region. Also a seismically quiet region is found wide in and around Korea, where quaternary volcanoes distribute. This region may be related to high temperature feature of the crust and upper mantle of this region since similar quiet region is also seen around quaternary volcanoes in Japan. Attenuation of seismic waves is remarkably small or earthquake shakings are anomalously large in the middle to the South of Korea that may be attributed also to the peculiar structure of the crust and upper mantle of this region.

