

## 13. 地震活動の時空間パターン

地震活動の時空間分布にみられる大地震の前兆現象として、震源の移動、先駆的異常地震活動、静穏化現象とドーナツ・パターン、直前の前震活動などが、これまでに報告、提案されている。このうち前震については別稿で扱うので、ここではその他の項目について述べる。

### 〔I〕震源の移動

大きな地震は孤立して発生する場合もないとはいえないが、テクトニックに一つのブロックを形成しているとみられる地域、もしくはその境界において、活動期に次々と発生することのほうがかむしろ普通である。そしてしばしばそれらの地震発生は特定の方向への活動の移動や拡散現象を示す。こうした現象については、環太平洋のプレート境界の巨大地震発生に関して、これまでに広汎な調査が行われている（例えば Fedotov, 1965 ; Mogi, 1968a ; Kelleher, 1970, 1972 ; Kelleher *et al.*, 1973 など）。内陸の大規模な断層や地質構造帯に沿っても、地震活動の移動はしばしば認められる。よく知られているのはトルコのアナトリア断層沿いの活動で、M7クラスの大地震の震源が次々と西に移っていった。これは、地震活動の移動現象が初めて紹介されたケースでもある（Richter, 1958 ; Mogi, 1968b ; Toksöz *et al.*, 1978）。この他、アメリカのサンアンドレアス断層沿いや中国のいくつかの地震帯についても移動現象が調査されている（Savage, 1971 ; He, 1987 ; King and Ma, 1988 など）。日本の内陸の地震活動にみられる移動・拡散現象に関しては、Mogi (1969) の研究に始まって、近年は微小地震活動についての報告例も含めて多くの研究がある（例えば佃他, 1988 ; Yoshida, 1988 ; 吉田・細野, 1989 など）。

ここでいう移動・拡散現象はいわゆる大地震の余震域の拡大現象と似ているが異なる面も持つ。その特徴は、活動の影響が何十年にも及ぶ場合があること、方向性を持つこと、余震域の何十倍もの距離にわたって影響が及んでいくこと等であろう。以下、日本の内陸の地震活動についてみられた例を2, 3 紹介し、提唱されている移動現象のメカニズムと地震予知への利用の可能性について若干検討する。

図 13-1 は 1923 年関東地震以後 50 年間に関東・東北地方の内陸に発生した M6 以上の浅い地震の震央及び時空間分布で、これから地震活動は次第に北上していったことがわかる。この移動系列を初めて指摘したのは Mogi (1969) で、このゾーンに沿っては近年の小地震活動にも帯状分布が認められる。遠距離にまで及んだ移動現象が常時地震活動帯に沿っていたことは注意すべき事実であろう。この地震活動帯は東北地方で火山フロントとほぼ一致するが、関東地方ではそれからはずれ、むしろ関東平野下にもぐり込んだフィリピン海スラブの西縁と関連しているようにみえる。なお、この地震系列の移動速度は約 4.5 km/年である。

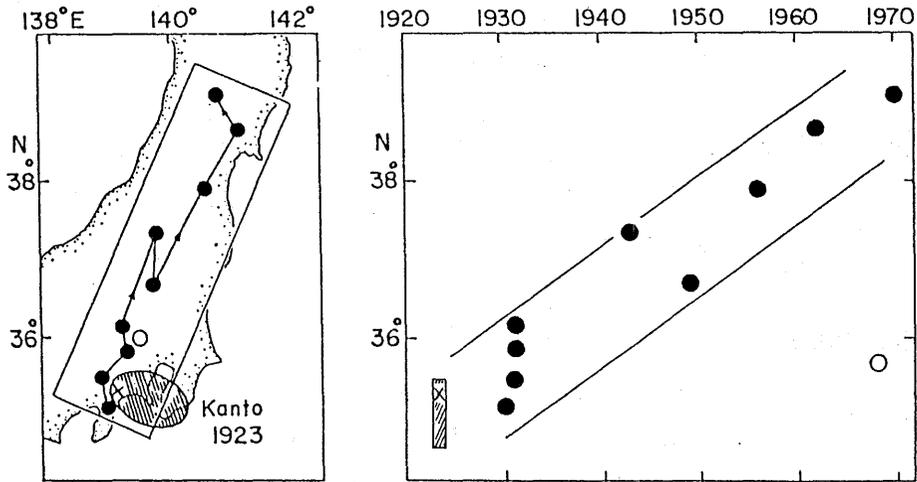


図 13-1 関東・東北地方の内陸部における浅い地震 ( $M \geq 6$ ) の震源の移動。茂木 (1976) による。

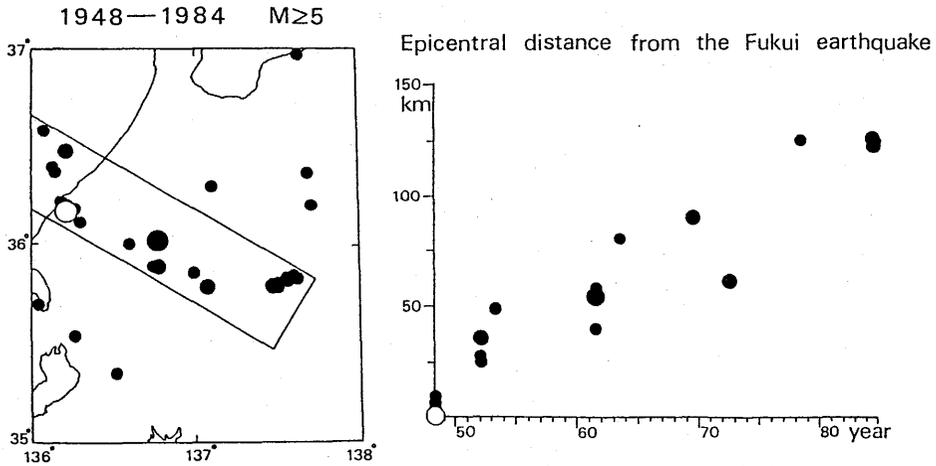


図 13-2 (a) 1948—1984 年の期間に中部地方北西部に発生した  $M \geq 5$ 、深さ  $\leq 30$  km の地震の震央分布。白丸は 1948 年福井地震の震央  
(b) 矩形領域内の地震について、縦軸に福井地震との震央距離を、横軸に発生年をとってプロットした時空間分布。

図 13-2 (a) は 1948 年から 1984 年までの期間に発生した  $M 5$  以上、深さ  $30$  km 以浅の地震の震央分布であり、図 13-2 (b) は矩形領域内の地震について縦軸にそれらの地震と福井地震との震央距離を、横軸に発生年をとってプロットしたものである。これから、福井地震の後、地震活動が次第に周辺に拡がっていったことがわかる。その速度は約  $4$  km/年である。注目されるのは 1948 年福井地震 ( $M 7.1$ )、1961 年北美濃地震 ( $M 7.0$ )、1969 年岐阜県中部地震 ( $M 6.6$ )、1984

年長野県西部地震 (M 6.8) と、福井地震の震源域から東南東方向に延びるゾーンに沿って大きな地震が次々と発生していったことで、これらの地震の震源域の並びはこの地域の第四紀火山の分布とよく対応している。それはこのゾーンが地殻の弱帯であることを示しているものと考えられる (Yoshida, 1989a)。

1964年6月に新潟地震が発生し、翌年8月から松代群発地震が始まった。この地域はそれまで、比較的長期間顕著な地震活動がなかったところであり、一方これら2つの震源域を結ぶゾーンは古く大森 (1907) によって信濃川地震帯が提唱され、また地質学的にも活褶曲地帯として知られてきたところである (例えば Huzita, 1980)。1928年三条地震 (M 6.9) や 1847年善光寺地震はこの地震帯に沿って発生している。こうした背景から、新潟地震と松代地震の発生には何らかの関連があったのではないかという推測が成り立つ。

図13-3 (a) は1950-1985年の期間におけるM4以上の地震の震央分布で、図13-3 (b) はこのうち新潟・松代両地震の震源域を結ぶゾーン内に発生した地震の時空間分布を示したものである。これから、このゾーンでは新潟、松代両地震が発生した時期に地震活動が活発化したことは明瞭で、これは、二つの地震の発生の間に関連があったのではないかとする先ほどの予想に対して、それを支持する一つの事実と考えられよう。

地震活動が移動・拡散していくメカニズムについては、これまでも相当数の研究報告がある。それらは大きくみて、移動現象の背後に何らかの実体をもつ波動の存在を考えるか、それとも単に応力の集中が次々と繰り返されていくと考えるかの2種類に分けられる。前者の中には、brittleな地殻の下に ductile な層を考えて、それらの coupling によって低速の減衰波が存在しうることを示した Bott and Dean (1973) や、トランスフォームプレート境界における edge dislocation の流れを kinematic creep wave として扱った Savage (1971)、弾性体に挟まれた薄い viscous な

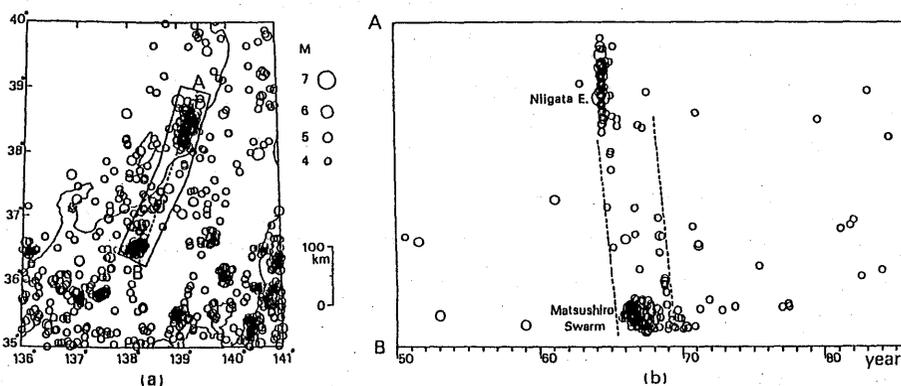


図13-3 (a) 1950-1985年の期間に発生したM $\geq$ 4, 深さ $\leq$ 40 mの地震の震央分布。  
 (b) 矩形領域内の地震についての時空間分布。新潟地震と松代地震との間の関連を示唆する。

fault gouge 内を一定速度で伝播する crack の解を求めた Ida (1974) などがある。大内 (1988) による反応拡散系としての地殻の歪場の記述もこれに含まれよう。一方、応力集中が次々と移動していくという見方には、破壊域の先端に高応力場が形成されるという素朴な考えや、ブロック間の力学的な coupling 面内における 1 つの asperity の破壊が隣の asperity 内の応力場を強める働きをするという考えなどがある。実際の地震活動の移動現象がこれらのどのモデルに最もよく適合するかは場合場合による。規模の大きな地震についてみると、移動速度は数 km/年のものが多いが、微小・小地震活動では 100 km/日に達する現象もみられる (Yoshida, 1988)。おそらく、一つのモデルで地震活動の移動現象を全て説明しようとするのは正しい方法ではなく、移動現象をいくつかの type に仕分けする必要があると思われる。

なお、多くの場合、地震活動の移動が地質の活構造帯に沿ってみられることは注目に値する。このことは、内陸における地震活動の移動・拡散が、一般に地殻のブロック境界すなわち力学的なカップリングゾーンに沿って生じる現象であることを示唆している (Yoshida, 1988)。

地震活動の移動現象について定量的な議論をすることはむずかしい。ある人が明瞭にパターンがみられると主張しても、別の人にとってはそれほどでもないと思われる場合もあるし、なかにはそうした現象に全く物理的意味を認めない人もいるだろう。しかし、最初に述べたように、内陸において大きな地震が孤立して発生することは少なく、テクトニックに一つのブロックを形成していると考えられる地域の境界——地質活構造帯に沿って次々と発生する場合が多いようにみえるというのも事実である。そして、そうした successive な地震の発生は、しばしば特定のゾーンに沿う移動パターンを示す。これだけでは次にどこでいつ大きな地震が発生するかという問題に答えることはできないが、しかし、ある地域における地震発生の可能性が高まっているかどうかについて一つの基礎的な判断材料を提供するということはできよう。

繰り返しになるが、移動現象等のパターン認識には主観的な要素がかなり入る。なかには物理的な関連の全くないものもあるだろう。しかし、もしそれが活構造帯——力学的なブロック境界に沿って生じていることが認められれば、その現象の有意性は高いといえるのではなかろうか。ただし、先にも述べたように、いま、一応そうしたパターンの存在を認めたとしても、次にいつどこで大地震が発生するかということについてそれだけを基に精しく予測するのはかなりむずかしい。それには、例えばそのブロック境界の構造やそのゾーンに沿う小地震活動の解析などを合せて行う必要があるだろう。もちろん移動現象のメカニズムや、震源域の形成にいたる応力の集中過程を物理的に解明することが重要であることはいうまでもない。

## 〔II〕先駆的異常地震活動

常時地震活動の高い subduction region においては、周辺に比べて活動度の低い空白域を認めることは比較的容易である。しかし、内陸においては全体的に地震活動が低いために、ある「空

白域」がいわゆる前兆現象としての静穏化を示しているものか、それとももともと不活発なブロックの存在を示しているものなのかを判別することはかなりむずかしい。例えば、10ないし20年間のM3以上の地震をプロットすると、ほとんどの地域が空白域として残ってしまう。このような状況の下では、内陸の大地震の地震前兆現象として、静穏化現象に注目するより、何らかの“異常な”先駆的活動に注意を向ける方がより实际的であるといえる。関谷(1976)、Sekiya(1977)は、大地震の数年から10数年前に震源域周辺に現れる統一的な地震活動の重要性を指摘して、本震のマグニチュードとその前兆期間との間に比例関係を求めた。関谷(1976)は日本の内陸に発生した地震を調べたが、Evison(1977)は、ニュージーランドとカリフォルニアに発生した大・中地震に先駆する群発地震活動に着目して、やはり本震のマグニチュードと前兆期間との間の同様な関係式を得ている。勝又・浜田(1985)は、1961年以後、日本の内陸に発生したM6以上の浅い大地震の前の活動を調べて、数年から10年程度先駆して震源域もしくはその断層の延長線上にM4.5からM5.5の比較的大つぶの地震が発生しているcaseをいくつかみつけ、それが長期的予測に有効な手がかりになりうるのではないかと述べている。一方、Yoshida(1987)は震源域を通る構造線に沿う先駆的な地震活動に着目した。また、鈴木(1985)は日本とその近海に発生した地震について先駆的地震活動を広汎に調査した報告書をまとめている。それによれば、1872年から1983年までの112年間に合わせて61個の地震について先駆的活動があった。浜田(1987)

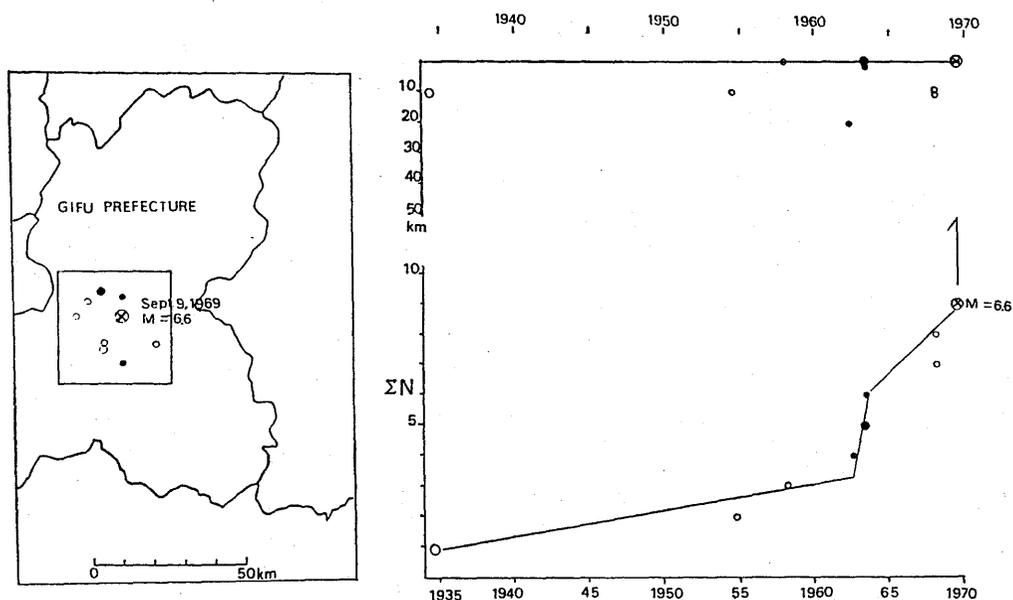


図 13-4 1969年岐阜県中部地震に先行してその震源付近に発生した地震活動。黒丸が異常地震活動を示す。関谷(1977)による。

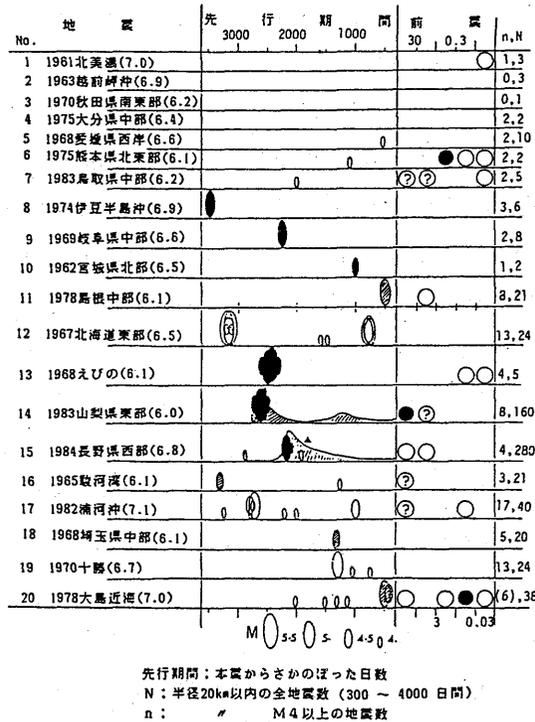


図 13-5 先行する地震活動の推移に関するいくつかのタイプ。黒ぬりの記号は本震との密接な関係が定される地震。勝又・浜田 (1985) による。

も指摘するように、先駆的地震活動が現れてから本震が発生するまでの期間と本震のマグニチュードとの間には非常に明瞭な相関が認められる。しかし、鈴木 (1985) には何をもって先駆的活動とみなすかについて明確な記述がなく、そこにあげられている先駆的活動の“異常性”と“識別性”に関しては多少問題が残されているように思われる。

これらの研究にみられる“異常地震活動”は直前ではなく、数年程度前の活動に着目する点で似ているが、しかし、その具体的な定義にはかなりの違いがある。例えば、勝又・浜田 (1985) は前兆的な大つぶの地震を探すのに本震の震央から 10 km 程度をとっているのに対して、関谷 (1976) は 20 km 程度まで、また Evison は 30 km 離れた活動をも考慮にいれている。更に、勝又・浜田 (1985) は M 4.5～M 5.5 の大つぶの地震に注目するのに対して、Sekiya (1977) は M 3 以下の小地震も含めた“数”を、また Evison (1977) は群発地震を調べている。

最初に述べたように、常時の地震活動が比較的低い内陸において、地震活動から前兆的な現象を探すとするれば、“異常な活動”に注目するのは実際的である。しかし、何をもって異常な活動とするかは、これまでみたように人によってその定義がかなり異なる。先駆的異常地震活動を予知に有効に活用できるようにするためには、それが長期的な地震活動の中で明瞭に異常と識別できるものなのかどうか、また同様な現象が大きな地震の発生を伴わないで起きる場合がないのかど

うかについてはっきりさせるとともに、大地震の前にその震源域周辺でどのようなプロセスが進行するのか、そのモデルの検討をも併せて進めていく必要があるだろう。

### 【III】 静穏化現象とドーナツ・パターン

プレート境界のカップリング zone は巨大地震の震源域によってほぼ互いに重なることなくおおいつくされる。一つの zone に沿ってこれら一連の大地震が発生し終わるまでの期間は、同じ場所で次の大地震が発生するまでの期間よりも短い。従って、そのゾーンの活動期においてまだ破壊されていない部分は、近い将来大地震の発生が予想される候補地となる。このような意味での未破壊域のことを空白域という。この概念はアリュシャン海溝から千島海溝にいたる沈み込み境界域の地震帯に関する Fedotov (1965) や Mogi (1968) の研究によって確立された。

一方、大地震の発生前に震源域とその周辺の中・小地震活動が前兆的に低下する現象もよく知られており、この静穏化した領域のことも空白域と呼ばれる。Mogi (1979) はこれら二種の空白域を区別するために、前者を第1種空白域、地震活動の静穏化現象出現域としての空白域を第2種空白域と呼ぶことを提唱している。震源域における前兆的な地震活動の静穏化は、井上 (1965) によって1952年十勝沖地震や1964年新潟地震について最初に指摘され、以来、これに関しては非常に多くの研究がなされている (例えば Mogi, 1969; Kelleher and Savino, 1975; Katsumata and Yoshida, 1980 など)。特に、静穏化現象は常時地震活動の高い zone の中に生じた場合に識別が比較的容易であるため、これについての研究は巨大地震発生域であるプレート沈み込み境界のカップリング zone に関するものが多いが、サンアンドレアス断層などのトランスフォーム断層地帯の地震や内陸の中規模の地震に関する調査報告もある。

第1種及び第2種空白域は有力な前兆現象と考えられており、これらに基づいて予知に成功した例も、1973年根室半島沖地震 (宇津, 1970; 1972) や1978年 Mexico Oaxaca 地震 (Ohtake *et al.*, 1977) などいくつかある。東海地震の予測においても、空白域の存在がその有力な根拠となっている (Ishibashi, 1981)。

ところで、常時地震活動の高い zone の中に静穏化領域が出現した場合、いわゆるドーナツ・パターンとして認められることがある。このようなパターンの形成メカニズムについては、アスペリティとその周辺における断層面上の強度の違いや、そこでの応力場の変化によって説明しようという考えがある (Kanamori, 1981)。しかし、Mogi (1969) によって論じられたもともとのドーナツ・パターンは空間的なスケールが大きく、例えば東南海地震や南海道地震を例にとると、周辺の活動として、伊豆・関東から山陰、日向灘にいたる地域に発生した地震が対象となっている (Mogi, 1981)。これは断層面上での *asperity* とその周辺域というスケールでは全くない。一般に、空白域や静穏化現象、ドーナツ・パターンという現象について空間、時間、それから対象とする地震の規模に関して様々なスケールのものがそれについての明瞭な定義のないままに

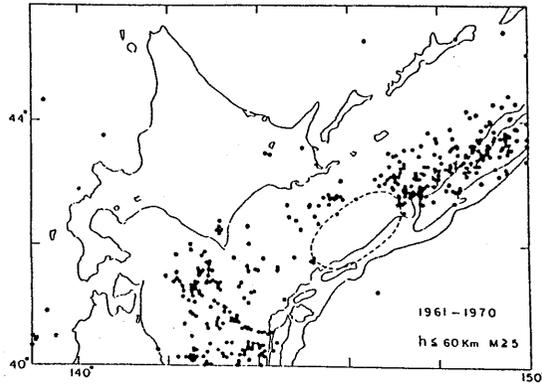


図13-6 1973年根室半島沖地震に先行した地震空白域。宇津(1972)による。

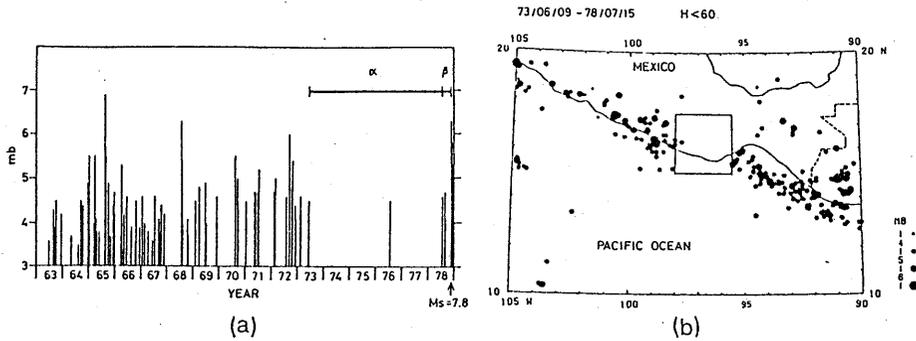


図13-7 (a)Oaxaca gap内 (b図に示す)における1963—1978年の浅い地震 (depth < 60 km) の発生時系列。

(b)Oaxaca gapのα stage (a図に示す)におけるメキシコ南部付近の震央分布。大竹(1980)による。

議論されるケースがしばしばある。一つのテクニカル・タームがもともとの意味から外れて拡大解釈されるのは珍しいことではない。時には他分野の現象にまでアナログ的に使われることもあるが、しかし、地震活動という対象の中で物理的な意味合いが異なる可能性もある様々なスケールの現象について同じ言葉を用いるのは混乱をきたしやすい。今後の課題として、空白域、静穏化現象、ドーナツ・パターンといったものの中に物理的に異なる現象が含まれている可能性を十分考慮して、それらについて議論する時には対象とする現象を明確に規定したうえでそのメカニズムを考察していく必要があるだろう。

一つの例として、Scholz(1988)は地震活動静穏化現象を3つのタイプに分けている。その1つは余震活動の終了後に震源域に現れるもの、2つ目は大地震発生の数年前から震源域とその周辺

でみられるもの、そして3番目は群発的な前震活動の中で本震発生の数時間前に生じるものである。茂木(1982)やYoshida(1989b)によれば、この3番目の静穏化現象は伊豆地域で発生する地震に伴ってしばしば認められる。そのような地震については、この現象は直前の予知に有効に利用することも可能と考えられる。

Wyss(1986)やWyss and Habermann(1988b), Kisslinger(1988)などによって、静穏化現象が生じた領域内におけるその静穏化度の違いが震源域の構造との関連で議論されている。このような空間的にきめ細かな調査も、他の前兆現象の出現場所やその発生過程と合わせて検討する際には必要となつてこよう。また、これに関連して、とりあげる地震のマグニチュードの下限によって、空白域の拡がりやその発現時期が変わってくることに注意する必要がある。なお、安芸(1989)は、静穏化する地震のマグニチュードには下限が存在するのではないかという考えを提出している。

空白域の出現は、周辺も含めて常時地震活動が高いところで有効に認められる。ある地域の地震活動が低下した時に、周辺の活動がもともと低い場合には、どの範囲が空白域かということ特定するのが困難な場合が少なくない。内陸での地震活動について、空白域という概念がこれまでそれほど有効性を発揮していないのは、一般に活動が低いために、その範囲、発生時期を明確に示すことが難しいことも大きな理由の一つになっているものと思われる。例えば、先にも述べたように、10年間とか20年間のM3以上の地震をプロットすると、内陸のほとんどの地域が空白域となる。しかし、最近、地震活動の空間的分布には構造がみられること、小地震活動の活発なzoneが存在することなどがいろいろなところで指摘されるようになった。このような分布の構造をふまえたうえで、平常時の活動の特徴とその変化を注意深く解析していけば、その中に生じた前兆的な微小地震の静穏化域を検出することも可能となつてくるものと期待される。

Habermann(1981)やWyss and Habermann(1988a)などは静穏化現象の定量化に非常に積極的である。静穏化したかどうか、その静穏化度はどのくらいかについて客観的に判断することができれば、異常の自動的な検出や大地震発生との関連性についての統計的、確率的な評価も可能となる。一つの進むべき方向ではあるが、しかし、それと同時に次のことにも注意する必要がある。それは、震源の移動、先駆的活動、静穏化など地震活動のパターンの変化に関する現象は、応力が付加されるプロセスについての地域地域毎のテクトニックな背景、断層や活構造線の存在、地殻のブロック化等、そこでの静的、動的な様々な構造と密接に結びついているということである。その意味で、客観的な解析を目指すとともに、そうした構造を考慮に入れた現象の物理的プロセスの解明も合わせて進めていく必要があるものと思われる。(吉田明夫)

#### 参 考 文 献

安芸敬一, 1989: 安芸敬一教授講演速記録, 国立防災科学技術センター研究速報, 第80号, 67pp..

- Bott, M. H. P. and D.S. Dean, 1973 : Stress diffusion from plate boundaries, *Nature*, **243**, 339-341.
- Evison, F., 1977 : The precursory earthquake swarm, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **15**, 19-23.
- Fedotov, S. A., 1965 : Regularities of the distribution of strong earthquakes in Kamchatka, the Kurile Islands, and north-east Japan, *Tr. Inst. Fiz. Zemli, Akad. Nauk SSSR*, **36**, 66-93.
- Habermann, R. E., 1981 : Precursory seismicity patterns: Stalking the mature seismic gap, In "Earthquake Prediction" Maurice Ewing Series IV (D. W. Simpson and P.G. Richards, eds.) , Am. Geophys. Union, Washington, D. C., 29-42.
- 浜田和郎, 1987 : 日本の地震の前兆現象に関する統計, 地震予知研究シンポジウム, 243-249
- He, W., 1987 : The migration characteristics of moderate earthquakes in south Qilienshan mountain area, *Earthquake Research in China*, **3** (2), 91-95.
- Huzita, K., 1980 : Role of the Median tectonic line in the Quaternary tectonics of Japanese islands, *Memoirs Geol. Soc. Japan*, No.18, 129-153.
- Ida, Y., 1974 : Slow-moving deformation pulses along tectonic faults, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **9**, 328-337.
- 井上宇胤, 1965 : 新潟地震前における震央付近及び隣接地域の地震活動について, 験震時報, **29**, 31-36.
- Ishibashi, K., 1981 : Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, in "Earthquake prediction, An International Review", ed. by D.W.Simpson and P.G.Richards, Maurice Ewing Series, 4, AGU, Washinton, D.C., 297-332.
- 勝又 護・浜田信生, 1985 : 内陸地震に先行した地震活動 (やや, 長期的にみた場合), 地震学会講演予稿集, No.1, 134-135.
- Katsumata, M. and A. Yoshida, 1980 : Change in seismicity and development of the focal region, *Pap. Meteorol. Geophys.*, **31**, 15-32.
- Kanamori, H., 1981 : The nature of seismicity patterns before large earthquakes, In "Earthquake Prediction" Maurice Ewing Series IV (D. W. Simpson and P. G. Richards eds.) , Am. Geophys. Union, Washington D. C., 1-19.
- Kelleher, J., 1970 : Space-time seismicity of the Alaska-Aleutian seismic zone, *J. Geophys. Res.*, **75**, 5745-5756.
- Kelleher, J., 1972 : Rupture zone of large south American earthquakes and some predictions, *J. Geophys. Res.*, **77**, 2087-2103.
- Kelleher, J. and J. Savino, 1975 : Distribution of seismicity before large strike slip and thrust-type earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **80**, 260-271.
- Kelleher, J., L. Sykes and J. Oliver, 1973 : Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean, *J. Geophys. Res.*, **78**, 2547-2585.
- King, C. and Z. Ma, 1988 : Migration of historical earthquakes in California, *Pure Appl. Geophys.*, **127**, 627-639.
- Kisslinger, C., 1988 : An experiment in earthquake prediction and the 7 May 1986 Andean islands

- earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **78**, 218-229.
- Mogi, K., 1968a : Sequential occurrences of recent great earthquakes, *J. Phys. Earth*, **16**, 30-36.
- Mogi, K., 1968b : Migration of seismic activity, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Tokyo Univ., **46**, 53-74.
- Mogi, K., 1969 : Some features of recent seismic activity in and near Japan, 2, Activity before and after great earthquakes, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Tokyo Univ., **47**, 395-417.
- 茂木清夫, 1976 : 地震と地震予知, 地震予知研究シンポジウム, 203-213.
- Mogi, K., 1979 : Two kinds of seismic gaps, *Pure Appl. Geophys.*, **117**, 1172-1186.
- Mogi, K., 1981 : Seismicity in western Japan and long-term earthquake forecasting, In "Earthquake Prediction" Maurice Ewing Series IV (D.W. Simpson and P. G. Richards, eds.), Am. Geophys. Union, Washington D. C., 43-51.
- 茂木清夫, 1982 : 日本の地震予知, サイエンス社, 352 pp..
- 大竹政和, 1980 : 地震空白域にもとづく地震予知——1978年メキシコ地震の予知を例として——, 国防防災科学技術センター研究報告, **23**, 65-110.
- Ohtake, M., T. Matsumoto, and G. V. Latham, 1977 : Seismicity gap near Oaxaca, southern Mexico as a probable precursor to a large earthquake, *Pure Appl. Geophys.*, **115**, 375-385.
- 大森房吉, 1907 : 信濃川流域ニ於ケル近年ノ強震, 東洋学芸雑誌, **24**, 307, 114-117.
- 大内 徹, 1988 : 反応拡散系による地震発生場のモデル化, 数理地震学(III), フラクタルと地震現象の数理共同研究成果報告書, 統計数理研究所, 61-77.
- Richter, C. F., 1958 : Elementary seismology, Freeman, San Francisco, 611-616.
- Savage, J. C., 1971 : A theory of creep waves propagating along a transform fault, *J. Geophys. Res.*, **76**, 1954-1966.
- Scholz, C. H., 1988 : Mechanisms of seismic quiescence, *Pure Appl. Geophys.*, **126**, 701-718.
- 関谷 薄, 1976 : 地震発生前の地震活動と地震予知, 地震2, **29**, 299-311.
- Sekiya, H., 1977 : Anomalous seismic activity and earthquake prediction, *J. Phys. Earth*, **25**, Suppl., S85-S93.
- 鈴木雄次, 1985 : 前震の記録, 発行者 鈴木雄次, 164 pp..
- Toksöz, M. N., A. F. Shakal and A. J. Michael, 1979 : Space-time migration of earthquakes along the south Anatolian fault zone and seismic gaps, *Pure Appl. Geophys.*, **117**, 1258-1270.
- 佃 為成・酒井 要・小林 勝・羽田敏夫・橋本信一, 1988 : フォッサマグナ地域における地震活動の伝播性, 地震学会講演予稿集, No.1, 60 pp..
- 宇津徳治, 1970 : 北海道における最近の地震活動と観測状況, 地震予知連絡会会報, **2**, 1-2.
- 宇津徳治, 1972 : 北海道周辺における大地震の活動と根室半島沖地震について, 地震予知連絡会会報, **7**, 7-13.
- Wyss, M., 1986 : Seismic quiescence precursor to the 1983 Kaoiki ( $M_s=6.6$ ), Hawaii, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **76**, 785-800.
- Wyss, M. and R. E. Habermann, 1988a : Precursory seismic quiescence, *Pure Appl. Geophys.*, **126**, 319-332.

- Wyss, M. and R. E. Habermann, 1988b : Precursory quiescence before the August 1982 Stone Canyon, San Andreas fault, earthquakes, *Pure Appl. Geophys.*, **126**, 333-356.
- Yoshida, A., 1987 : Precursory activity in seismic belts containing the focal region of forthcoming large intraplate earthquakes, *Tectonophysics*, **140**, 131-143.
- Yoshida, A., 1988 : Migration of seismic activity along intraplate seismic belts in the Japanese islands, *Tectono-physics*, **145**, 87-99.
- Yoshida, A., 1989a : Characteristic space-time patterns in seismic activity in the northwest Chubu district of Honshyu Island, Japan, and the 1984 Nagano-ken Seibu earthquake, *Tectonophysics*, **167**, 93-102.
- Yoshida, A., 1989b : Characteristics of foreshock activity associated with large shallow intraplate earthquakes in the Japanese islands, in preparation.
- 吉田明夫・細野耕司, 1989 : 地震活動の拡散と移動, 数理地震学 (IV) 「フラクタルと地震の数理」, 共同研究成果報告書, 統計数理研究所, 35-44.