

北海道における地震時の地表面最大加速度 の推定値分布

—— Cornell 系統の手法を用いたサイスミックマクロゾーンネーション ——

The Distribution of Maximum Ground Acceleration in Hokkaido
Estimated from the Seismic-Risk Analysis

秀島 好昭*

Yoshiaki HIDESHIMA

この報文は、最近の地震資料を用いて、北海道における地震時の地表面最大加速度の推定値分布を求めた結果を示している。北海道周辺の地震群は、根室沖合・釧路沖合・日本海溝北部および日本海中部の4つとされ、各地震群での地震の生起確率および任意の位置までの地震加速度の距離減衰を計算し、将来の期待最大加速度の分布図を作成した。地震群はその過去の発生状況から線震源および点震源とし、距離減衰式には板橋の経験式を用いた。計算結果は、各地震群に沿って（日本海溝・千島海溝に沿う）、等加速度分布が得られた。

《地震；地震危険度解析；加速度；距離減衰式》

This report indicates the distribution of maximum ground acceleration in Hokkaido as known by the term "expected lifetime". This seismic risk analysis (introduced by C.A. Cornell) incorporates the influence of all potential sources of earthquakes and the average activity rates assigned to them. The high intensity sources of earthquakes around Hokkaido are offshore from Nemuro and Kushiro, in the northern area of the Japan Trough and the middle area in the Sea of Japan. Arbitrary geographical relationships between the site and potential point or line sources can be modeled with computational case. In this report, I apply the Itahashi experimental formula, with assumed magnitude distribution and attenuation law used for the seismic data between 1961 and 1983. We found from the results of this seismic risk analysis, that equivalent maximum ground accelerations were distributed along the source of earthquakes, especially along the Japan Trough and the Chishima Trough.

Keywords: earthquake, seismic risk analysis, ground acceleration, attenuation model.

はじめに

現在、北海道開発局農業水産部では道東地域を中心に、ダム水源開発と送配水施設整備を基幹とした大規模な畑地かんがい事業を実施中である。さらに、石狩川流域の軟弱地盤地帯を含む先進開発地域では、農業施設の新規

整備および施設の統廃合による二次的開発が行われようとしている。また、農業水産部は全道的に中山間地での農地造成および農業用水源開発を展開している。当該事業での具体的な施設名をあげると、i)ダム施設、ii)パイプライン施設、iii)開水路施設、iv)農用地（生産基盤）などである。i)については、耐震性設計手法が導入され

*農業土木研究室副室長

ており、ii), iii)についても一部耐震性評価の規制を設けているがiv)については、未定のままである。これらの諸施設の個々の重要性および生産基盤システム全体としての基幹性はさらに高まりつつあり、これらについて特に耐震性の見なおし・新規耐震性評価手法の確立が必要となっている。またこの耐震性の問題は、農業部門に限らず広く他部門についても共通する課題で、土地利用開発という同一ポテンシャルの尺度で考えるならば、解決急務のものと認識される。現場においては、農業用フィルダムの数ダムに地震計（加速度計）を埋設するなど、観測体制を整備してきている。農業土木研究室においても、施設の耐震性の調査・研究に着手し、試験機器の整備・地震関連資料の整理・地震動解析手法の開発を進めている。本報告は、過去における地震資料を使った設計地震動（地盤加速度）の期待値についての要約を述べた。地震記録は、近年では地震月報として毎月報告されている。本報告では、地震観測体制がより整備された1961年以降より1983年までの23年間に、地震月報に記載されているマグニチュード4以上の地震（北海道周辺東経139°～146°、北緯39°～46°）を使って解析した。この条件を満たす地震は、3264件あった。

1. 地震危険度推定方法

構造物などの耐震性を検討するにあたり、将来数10年以上（耐用年数）にわたり遭遇するであろう地震の規模を理想的な精度で推定しなければならない。この作業には、地震動の観測資料などが必要である。地震動の大きさを表わす指標は、震度階・最大加速度・最大速度・最大変位などの数値で表わされるが、このような指標に関して構造物を設ける対象地点で、長期間の観測資料が存在することは稀であって、ある推定方法に頼らざるを得ない。指標の推定方法、それを使った地震危険度解析方法は、①決定論的方法②統計確率的方法に大別される。決定論的方法は、地震活動・活断層の分布・地殻変動などを考慮して、将来発生する震源域を仮定し、断層モデルより対象地点の理論地震波そのものを解析的に求める方法である^{2),3)}。この方法は、地震学的・地球物理学的観点から合理的であること、地震波そのものを推測できるなどの長所があるが、短周期成分（1秒以下）の推定がむずかしいことおよび計算に用いる断層パラメータに曖昧さが伴うなど問題が残されている。統計確率的方法は、2つの取扱い方があり、②-1 河角系統の方法⁴⁾と②-2 Cornell系統の方法⁵⁾がある。

前者の系統では、歴史地震を含む長期間の地震資料を用い、距離減衰式（マグニチュードなどと震源（央）距離

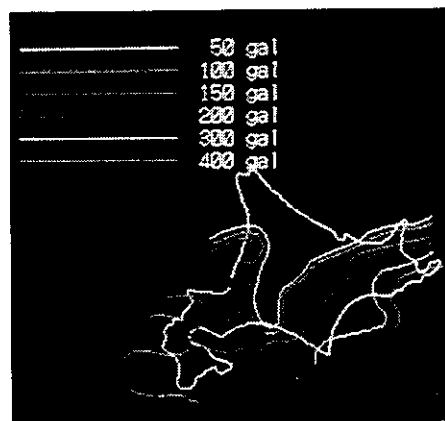


写真-1 地表面加速度河角マップ（100年確率）

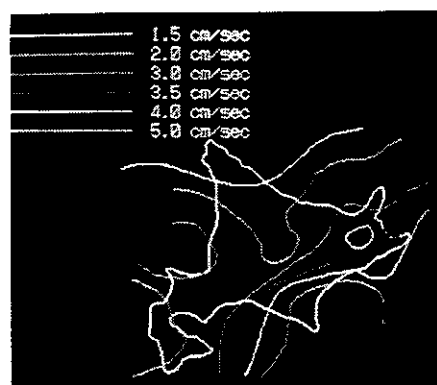


写真-2 地表面速度河角マップ（100年確率）

から最大地震動を計算する式）および統計確率モデルを使って、任意の再現期間に期待される最大地震動を推測する。8世紀以降の地震資料に基づく河角の先駆的研究は高く評価され、建設者の新耐震設計法（案）の地域係数へ反映されている⁶⁾。写真-1, 2に河角マップの一例を示した。写真からわかるように、十勝沖から根室方面で最大加速度が大きく、また、留萌付近でも大きな値が示されており、石狩～留萌にかけてのこのような期待値は、近年の地震動の状況とは合致しない。

後者の系統では、最近の整備の進んだ計器観測による資料（均質な地震資料）を基にし、全地域を地震活動に応じたいくつかの地震ブロックに分け、地震の大きさ・発生個数（頻度）の経験式を各ブロックごとに求める。さらに、各地震ブロックで任意の再現期間に期待される最大地震の大きさを推定し、これと距離減衰式（アテニュエーションモデル）を用いて、対象点での最大地震動を推定する。地震の大きさとその数の関係は、グーテンベルグ・リヒターの式が用いられ、距離減衰式はすでに多くの提案式がある（例えば、土木研究所資料⁷⁾などに要約されている）。上述の方法を、本報告内容に沿って示せば、図-1の解析の流れとなる。本報では、そのうち図-1の右側の流れであるCornell系統の方法を用い、

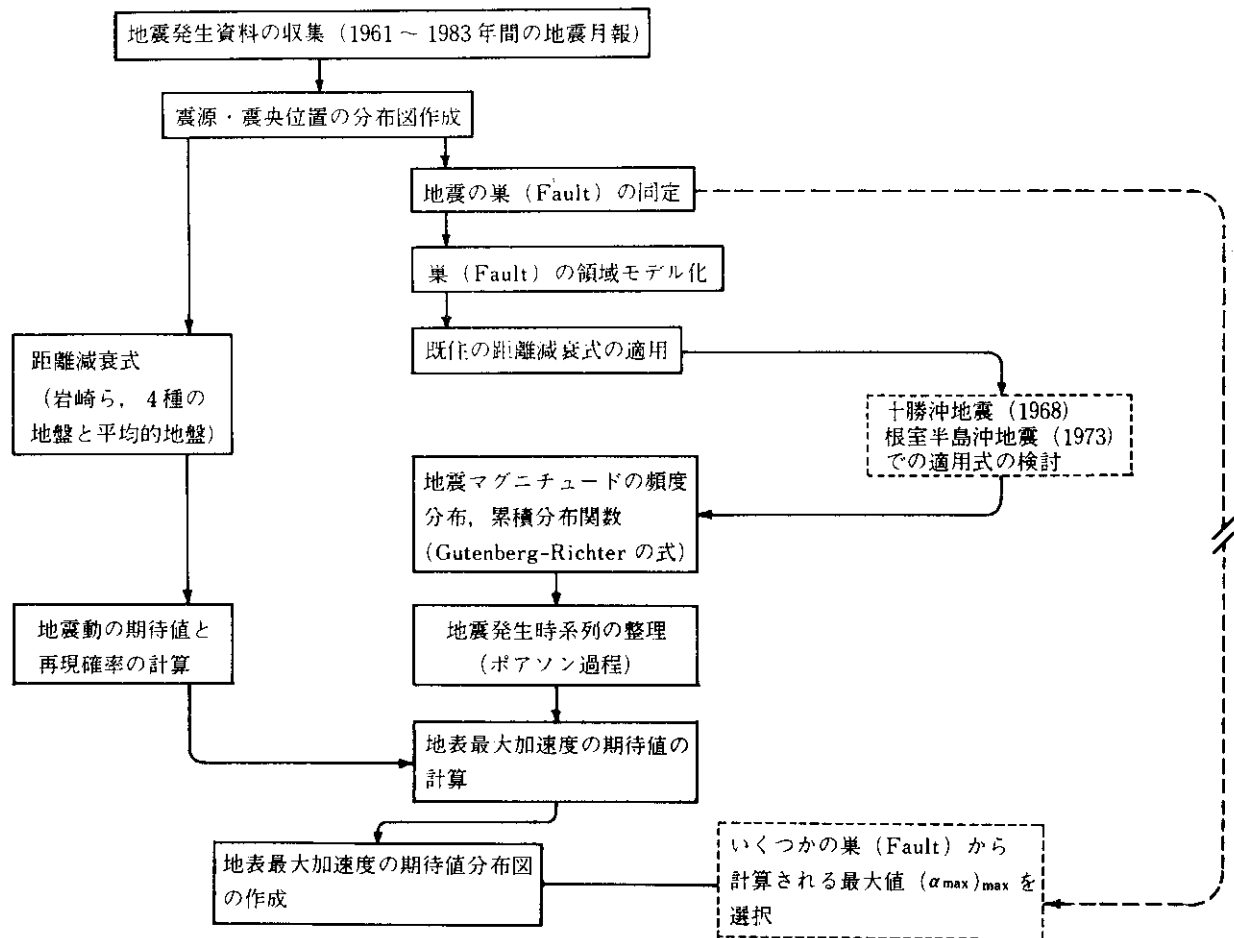


図-1 最大加速度の期待値解析フロー

北海道周辺の地表最大加速度の期待値分布図を示した。

2. 北海道周辺の最近の地震活動

写真-3は、日本近海で生じた深発地震の等深線を示している。等深線はプレートの相対運動面に沿っており、地震の発生状況はこれらの運動と相互作用から説明され

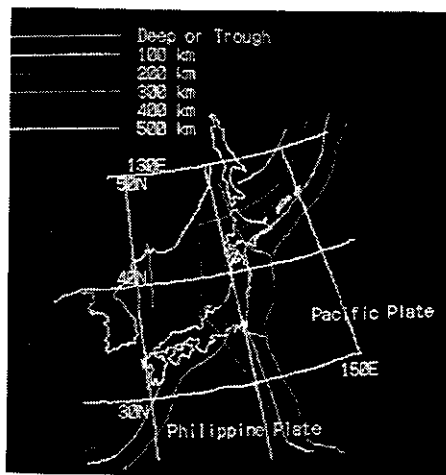


写真-3 日本近海の深発地震の等深線

る。図-2は、北海道周辺の最近の地震発生状況を示したもので、近年の大規模な地震としては、1968年十勝沖地震・1973年根室半島沖地震・1983年日本海中部地震が記憶に新しい。写真-4は、北海道南端太平洋側の海底のスケッチを示しており、図-2と対照して、従来からいわれているように、日本海溝・千島海溝および日高トラフ外延の間に多くの地震が発生していることがわかる。地震の分布を見ると、3つのグループに分けられる。第1のグループは、根室半島沖合の地震群である。第2のグ



写真-4 海底部スケッチ (文献9) より作成)

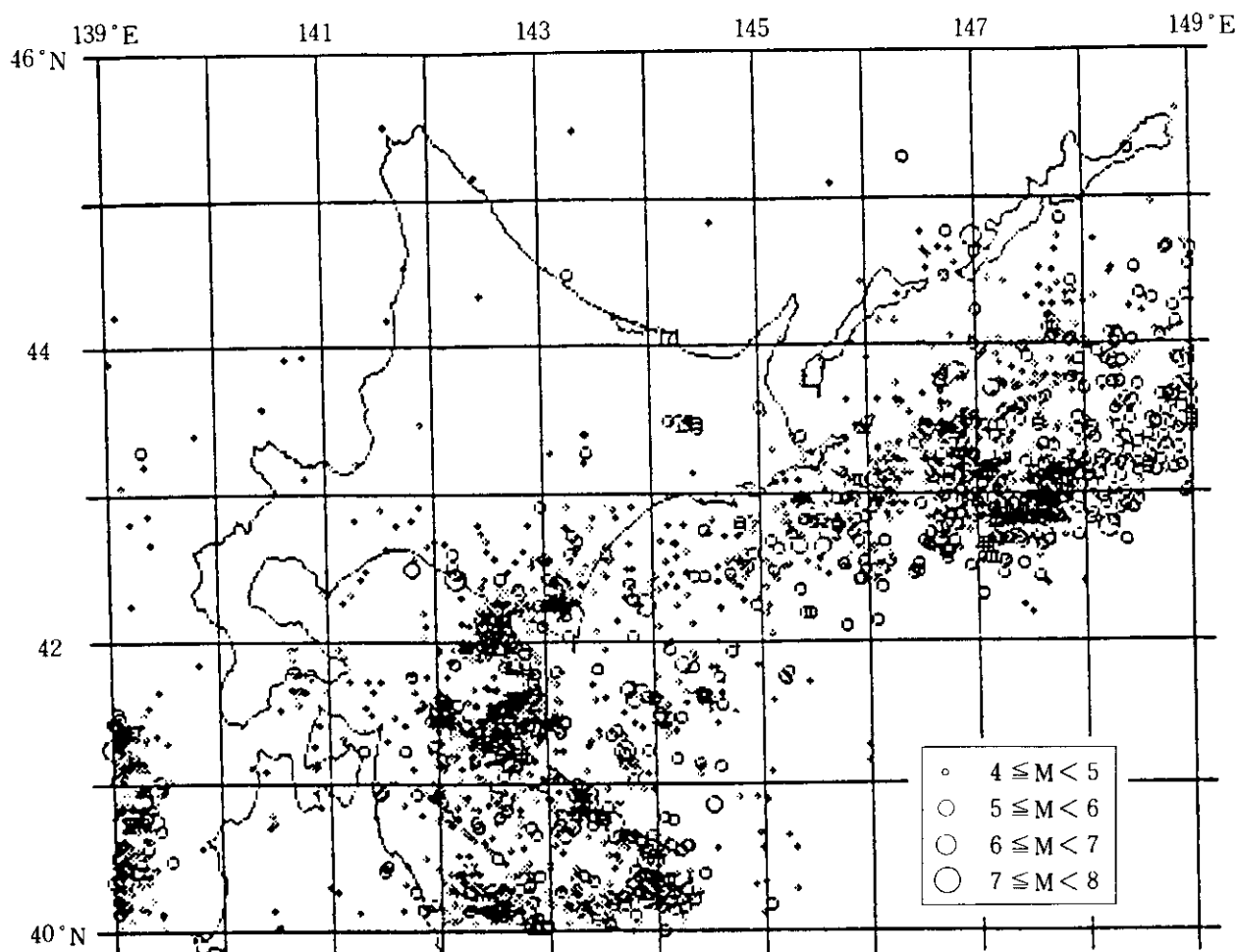


図-2 北海道周辺の地震発生状況 (1961～1983年)

ループは、青森県の日本海沖の地震群で、これは日本海中部地震の本震および余震である。第3のグループは、日本海溝および日高トラフ間の地震群である（本報では、後述するように日本海溝北部の地震源と称した）。さらに図-2では、南千島～北海道（本報では、釧路沖合の地震源と称した）では発生頻度は少ないが、これらの地域では地震活動に活動期と静穏期があることが指摘⁸⁾されており、地震資料の整理期間の取扱いに注意を要する。本報では釧路沖合を第4のグループとし、これら4つの地震ブロックから地震動を検討した。

(1) 地震動の大きさの分布

地震動の大きさとその発生頻度には、次のグーテンベルグ・リヒターの経験式がなりたつ。

$$\log n_m = a - bM \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 n_m ；マグニチュード M 以上の累積頻度，
 a, b ；それぞれ定数（通常 b はほぼ1か、それより少し小さな値となる）

図-3は、各地震群ブロックについてマグニチュード4以上の地震を対象とし、(1)式の形式で、マグニチュー

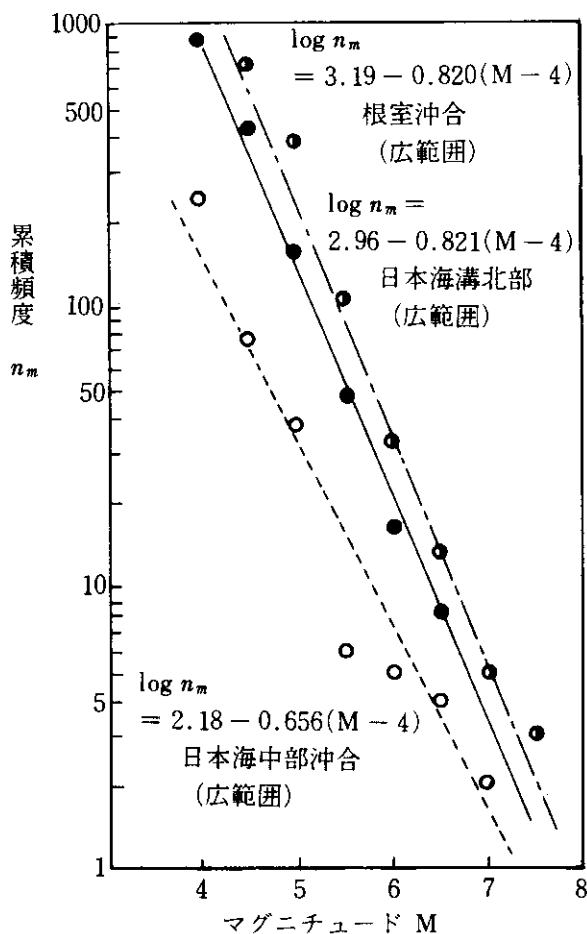
ドと累積頻度を回帰したものである（後述する地震源より、やや広範囲でブロックを設定している。さらに、震源の深さに範囲を設けていない）。図より根室沖合と日本海溝北部では、地震の集団の性質を表わす b の値は同じ0.82となること、日本海中部沖合では太平洋側のものと違って、その値は約0.66であることがわかる。 a の値は、地震資料の期間・調査領域により変化する。また、ここでマグニチュードに関する累積分布関数 $F_m(m)$ を示しておく、以下のように誘導される。

マグニチュード M_0 以上の地震の発生個数 $N(M)$ は、

$$\begin{aligned} N(M) &= \int_{M_0}^{\infty} n_m dM \\ &= \left[\left(-\frac{k}{b} \right) e^{\frac{a-bM}{k}} \right]_{M_0}^{\infty} \\ &= \frac{k}{b} \cdot e^{\frac{a-bM_0}{k}} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

ここに、 k ；常用対数と自然対数の変換のための係数 $k = 1/\ln 10 \approx 0.4343$

したがって、 $F_m(m)$ はマグニチュード M_0 から任意



日本海中部沖合 東経 139° ≤ ~ ≤ 140°, 北緯 40° ≤ ~ ≤ 42°
 日本海溝北部 東経 141.5° ≤ ~ ≤ 145°, 北緯 41° ≤ ~ ≤ 42.5°
 根室沖合 東経 145° ≤ ~ ≤ 149°, 北緯 42° ≤ ~ ≤ 45°

図-3 地震のマグニチュードと累積頻度

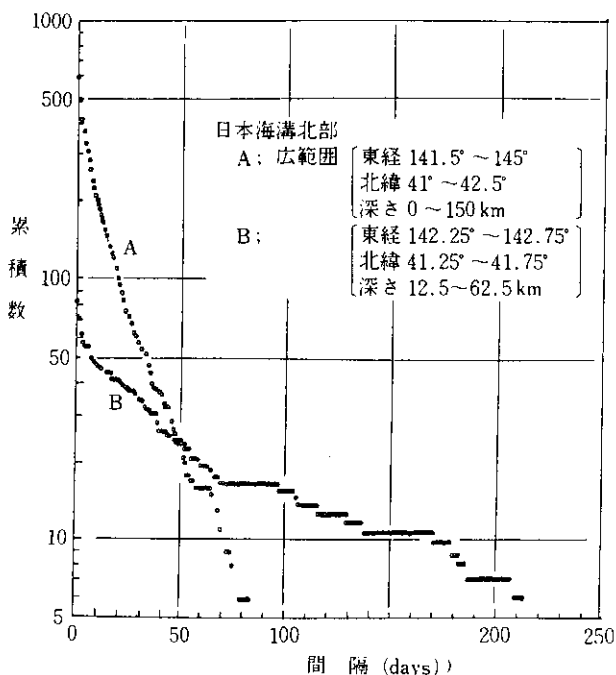


図-4 地震と地震の時間間隔の分布の例

の m までの発生個数を無限大の大きさ (最大の m) までの総数で除して求める。

$$F_M(m) = \frac{\left[\left(-\frac{k}{b} \right) e^{\frac{a-bm}{k}} \right]^m}{\frac{k}{b} e^{\frac{a-bM_0}{k}}}$$

$$= 1 - e^{b \ln 10 (M_0 - m)}$$

$$\equiv 1 - \exp [-\beta (m - M_0)]$$

$$(m \geq M_0) \dots\dots\dots (3)$$

ここに, $\beta \equiv b \ln 10$

(2) 地震発生の偶発性・続発性

一般に, 広範囲に生じた地震を対象にその発生率を検討すると, 発生確率は時間 t によらずいつも一定とされる (定常ポアソン過程)。一定の期間 T に地震が n 回発生する確率 $P(n)$ は, (4) 式で表わされる。

しかし, 大きな地震は周辺地域に影響を与え余震を伴うことが多く, また続発しやすい性質を合わせもつ。図-4の横軸は日数で, 縦軸は地震発生間隔(日数)の長い方から累積した地震数を対数で示している。ポアソン過程の場合にグラフは直線となるが, 図-4では発生間隔が小さなものは若干グラフ勾配は急になる傾向を示し, 資料には続発する地震も含まれていることがわかる (しかし, 本報ではその傾向は小さいとし, 特別に余震をとり除く作業は行わずポアソン過程で以下の解析を行った)。

$$P(n) = (\nu T)^n \exp(-\nu T) / n! \dots\dots\dots (4)$$

ここに, ν ; 地震の平均発生率

3. Cornell 系統の手法適用

コーネル系統の解析では図-1に示したように, 対象点付近の地震の巣を同定する。地震はその震源域に分布して発生するので, 分布のぐあいにより点震源モデル・線震源モデル・平面震源モデル (円形・矩形・扇形など) が適用されている。本報では, 図-5の点震源および図-6の線震源モデルを考えた。このようなモデルは, カリフォルニアのサン・アンドレア断層付近のモデルが高名であるほか, 国内でも多くの震源モデルの適用例がある。到達地震の大きさは, 一般に対象点までの距離が大きいと小さくなるなどの性質をもつので, 対象点までの距離

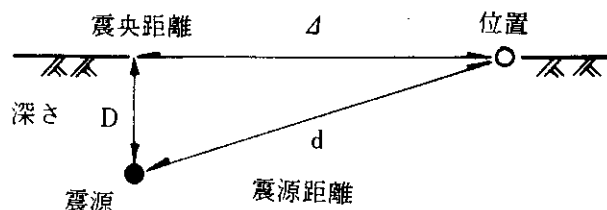


図-5 点震源モデル

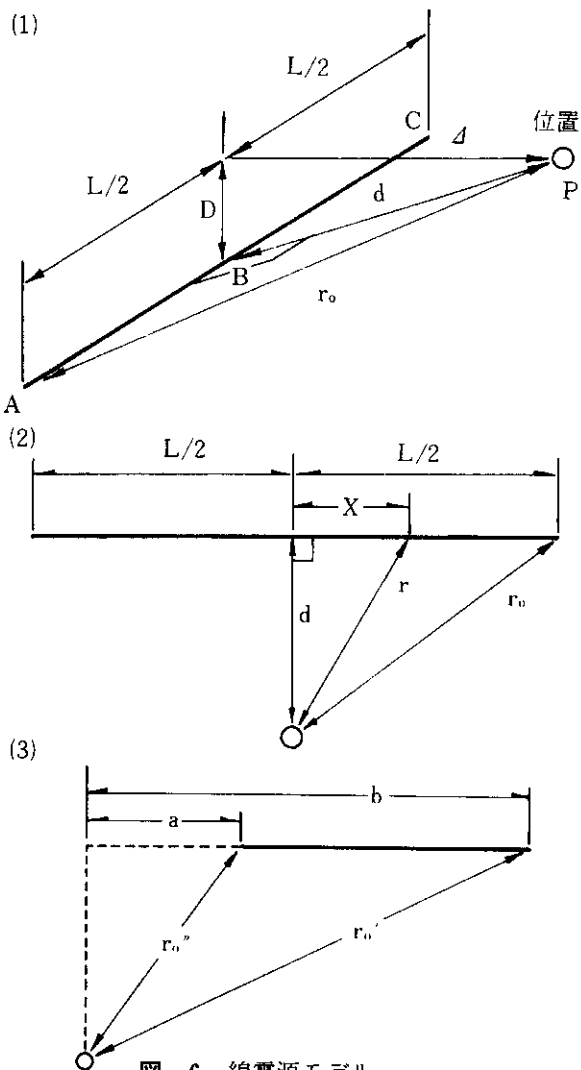


図-6 線震源モデル

- (2) (1)のABCP平面における座標
(3) 一般的な線震源モデル

の確率分布を求め、対象点での地震の大きさを推定することになる。点震源モデルでは、距離に関する確率密度関数 $f_R(r) = 1(r=d)$ であるが、線震源では次のとおりである⁵⁾。図-6の(1), (2)のように、地震源の長さ L 、その中間点 $L/2$ に直交する位置に対象点（解析したい位置）があるとする。震源は一般に地中にあるので、平面ABCP（図-6の(1)）で距離の確率密度関数を求める。

図より対象点と震源との垂線 d および r ($\equiv R$) は、

$$\left. \begin{aligned} d &= \sqrt{D^2 + x^2} \\ r &= \sqrt{d^2 + x^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

このとき r は、 $d \leq r \leq r_0$ ($r_0 = \sqrt{d^2 + L^2/4}$) である。距離の累積確率分布 $F_R(r)$ は、

$$\begin{aligned} F_R(r) &\equiv P[R \leq r] = P[R^2 \leq r^2] \\ &= P[x^2 + d^2 \leq r^2] = P[|x| \leq \sqrt{r^2 - d^2}] \\ &= \frac{\sqrt{r^2 - d^2}}{L/2} \quad (d \leq r \leq r_0) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

凡	例
● 十勝沖地震 (1968)	
○ 根室半島沖地震 (1973)	
—— 板橋	$a_{\max} = 153.1 \times 10^{0.483M} \times R^{-1.777}$
----- 大崎ら	$a_{\max} = 10^{0.440M - 1.38 \log R + 1.04}$
- - - Faccioli	$a_{\max} = 108 \times 10^{0.265M} \times (R + 25)^{-0.808}$
* 図中の数字は、マグニチュード	

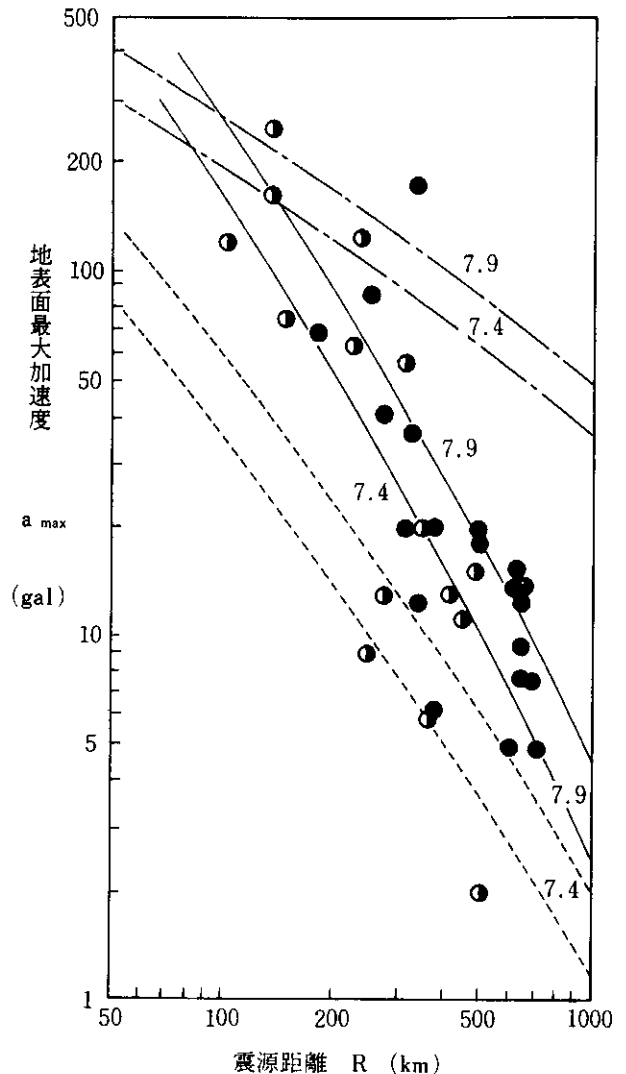


図-7 震源距離と地表面最大加速度の関係

ここに、 $P[\quad]$ は確率、変動する距離 r には表記上、大文字の R を使った。

距離 R の密度関数は、

$$\begin{aligned} f_R(r) &= \frac{dF_R(r)}{dr} = \frac{d}{dr} \left(\frac{2\sqrt{r^2 - d^2}}{L} \right) \\ &= \frac{2r}{L\sqrt{r^2 - d^2}} \quad (d \leq r \leq r_0) \dots\dots (7) \end{aligned}$$

再記すると $f_R(r)$ は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{点震源 } f_R(r) = 1 \\ \text{線震源 } f_R(r) = \frac{2r}{L\sqrt{r^2 - d^2}} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

地震動の大きさを I として、線形震源では I が任意の大きさ i より大きくなる確率は、(8)式で表わされる。

$$P\{I \geq i\} = \int_d^{r_0} P\{I \geq i | R = r\} \cdot f_R(r) dr \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $P\{I \geq i | R = r\}$ ；距離 $R = r$ で、大きさ I が i 以上となる確率

さらに、大きさ I の累積分布関数 $F_I(i)$ を求めれば、

$$1 - F_I(i) = P\{I \geq i\} \dots\dots\dots (9)$$

である。地震動の大きさとその距離による減衰を表わす経験式は、地表面加速度・速度などについて震源(央)距離とについて前述のとおり多くの提案がなされている。

図-7は十勝沖地震(1968)、根室半島沖地震(1973)の記録^{(10),(11)}より、震源距離と地表面最大加速度 $a_{\max}$ との関係を示したものである。図-7に併記したように、両地震に関しては、板橋の経験式(回帰式)⁽¹²⁾

$$a_{\max} = 153.1 \times 10^{0.483M} \times R^{-1.777} \text{ (相関係数 } 0.764) \dots\dots\dots (10)$$

の適合がよいようである。本報では、距離減衰式に(10)式を採用した。

マグニチュード M に関する式に展開するため、(10)式を、

$$A = B_1 \times 10^{B_2 M} \times R^{-B_3} \dots\dots\dots (10)'$$

とする。 $R = r$ にて、地表面加速度 A が任意の加速度 α を越える確率は、

$$\begin{aligned} P\{A \geq \alpha | R = r\} &= P\left\{M \geq \frac{\log \alpha + B_3 \log r - \log B_1}{B_2}\right\} \\ &= 1 - F_M\left[\frac{\log \alpha + B_3 \log r - \log B_1}{B_2}\right] \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

一方、 $F_M(m)$ は(3)式で与えられるので、(11)式と結びつけて、

$$\begin{aligned} P\{A \geq \alpha | R = r\} &= P\{\log A \geq \log \alpha | R = r\} \\ &= \exp\left[-\beta \left(\frac{\log \alpha + B_3 \log r - \log B_1}{B_2} - M_0\right)\right] \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

ただし、 $(\log \alpha + B_3 \log r - \log B_1)/B_2 \geq M_0$ 。

(8)式にたち返って、

$$\begin{aligned} P\{A \geq \alpha\} &= \int_d^{r_0} \exp\left[-\beta \left(\frac{\log \alpha + B_3 \log r - \log B_1}{B_2} - M_0\right)\right] \cdot \\ &\quad \frac{2r}{L\sqrt{r^2 - d^2}} dr \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

となる。(13)式右辺は、

$$\begin{aligned} &\int_d^{r_0} \exp\left(-\beta \frac{\log \alpha}{B_2}\right) \cdot \exp\left[\beta \left(\frac{\log B_1}{B_2} + M_0\right)\right] \\ &\quad \cdot \exp\left(-\beta \frac{B_3 \log r}{B_2}\right) \cdot \frac{2r}{L\sqrt{r^2 - d^2}} dr \\ &= \frac{1}{L} \cdot C \cdot G \cdot \exp\left(-\beta \frac{\log \alpha}{B_2}\right) \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

$$\text{ここに、} C \text{；定数で、} C \equiv \exp\left[\beta \left(\frac{\log B_1}{B_2} + M_0\right)\right]$$

G は幾何学的定数^{*1}で、

$$G \equiv \frac{2}{d^{\eta}} \int_0^{\sec^{-1}(r_0/d)} (\cos u)^{\eta-1} du \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{ここに、} \eta = k \cdot \beta \frac{B_3}{B_2} - 1 \simeq 0.4343 \beta \frac{B_3}{B_2} - 1$$

$$u \equiv \sec^{-1}(d/r)$$

これまでの、図-6の(1)の特殊な場合について定数 G などを誘導したが、図-6の(3)に示したような一般的な線形震源と対象点では、その定数 G は、

$$G = \frac{1}{2} (G' - G'') \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 G' ；線源 $2 \times b$ の長さの幾何学的定数

G'' ；線源 $2 \times a$ の長さの幾何学的定数

とすればよい。 r_0 が大きい場合は、(15)の積分項は

* 本文(14)式の距離 r に関する積分項をとりだすと、

$$2 \int_d^{r_0} \exp\left(-\beta \frac{B_3 \log r}{B_2}\right) \cdot \frac{r}{\sqrt{r^2 - d^2}} dr = 2 \int_d^{r_0} \exp\left\{\ln r \cdot \left(-k \cdot \frac{\beta B_3}{2}\right)\right\} \cdot \frac{r}{\sqrt{r^2 - d^2}} dr = 2 \int_d^{r_0} r^{(-k \cdot \beta \frac{B_3}{2})} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - (d/r)^2}} dr$$

$\theta = k \beta \frac{B_3}{2}$ として、与式は、

$$2 \int_d^{r_0} \frac{1}{r^{\theta} \sqrt{1 - (d/r)^2}} dr$$

ここで、 $d/r \equiv \cos u$ とおけば、 $\frac{1}{d} \cdot \frac{dr}{du} = \sec u \cdot \tan u$ 、さらに、 $dr = (r \cdot \sin u / \cos u) \cdot du$ 、上式を変換して、

$$2 \int_0^{\sec^{-1}(r_0/d)} \frac{\cos u^{\theta-2}}{d^{\theta-1}} du$$

となり、本文の G を得る。幾何学的定数 G は、地震源の形状により決まるもので、脚注と同様な手続きにより円形(扇形・環状)・矩形でも容易に求まる。

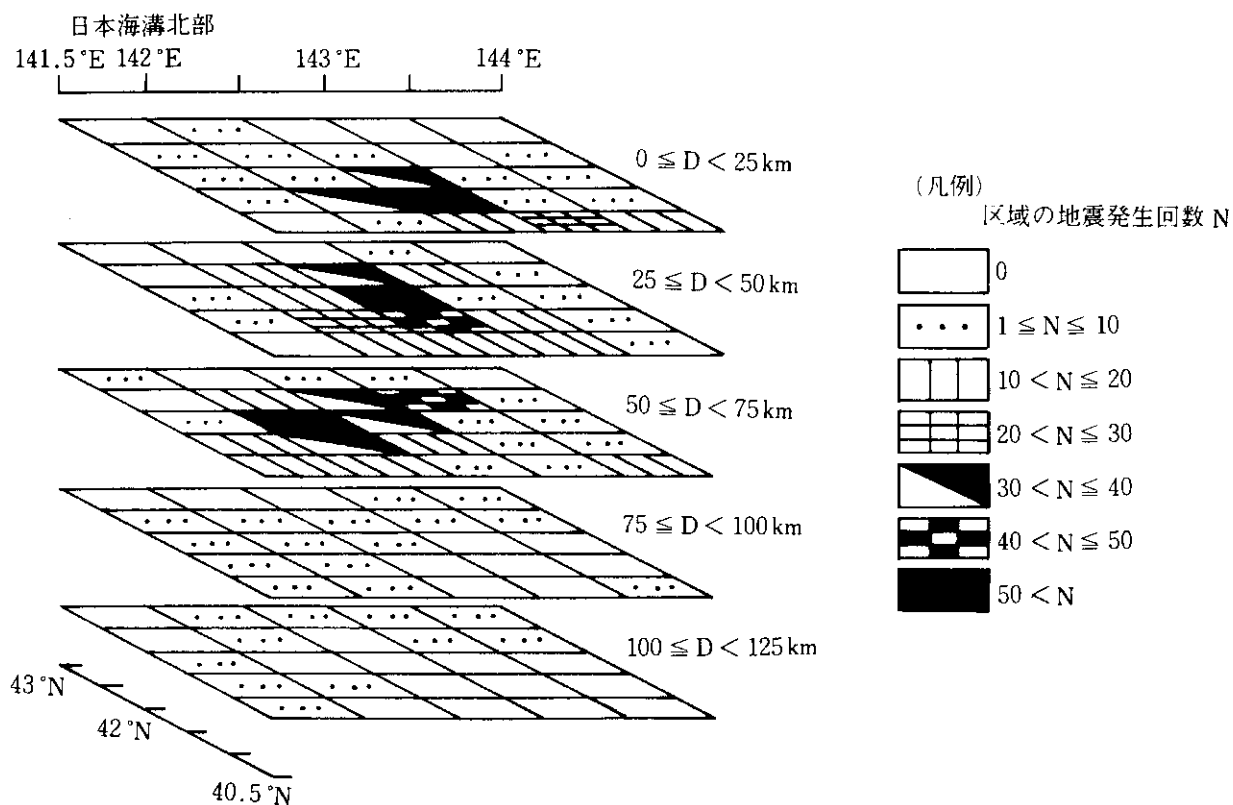


図-8 地震発生個数分布

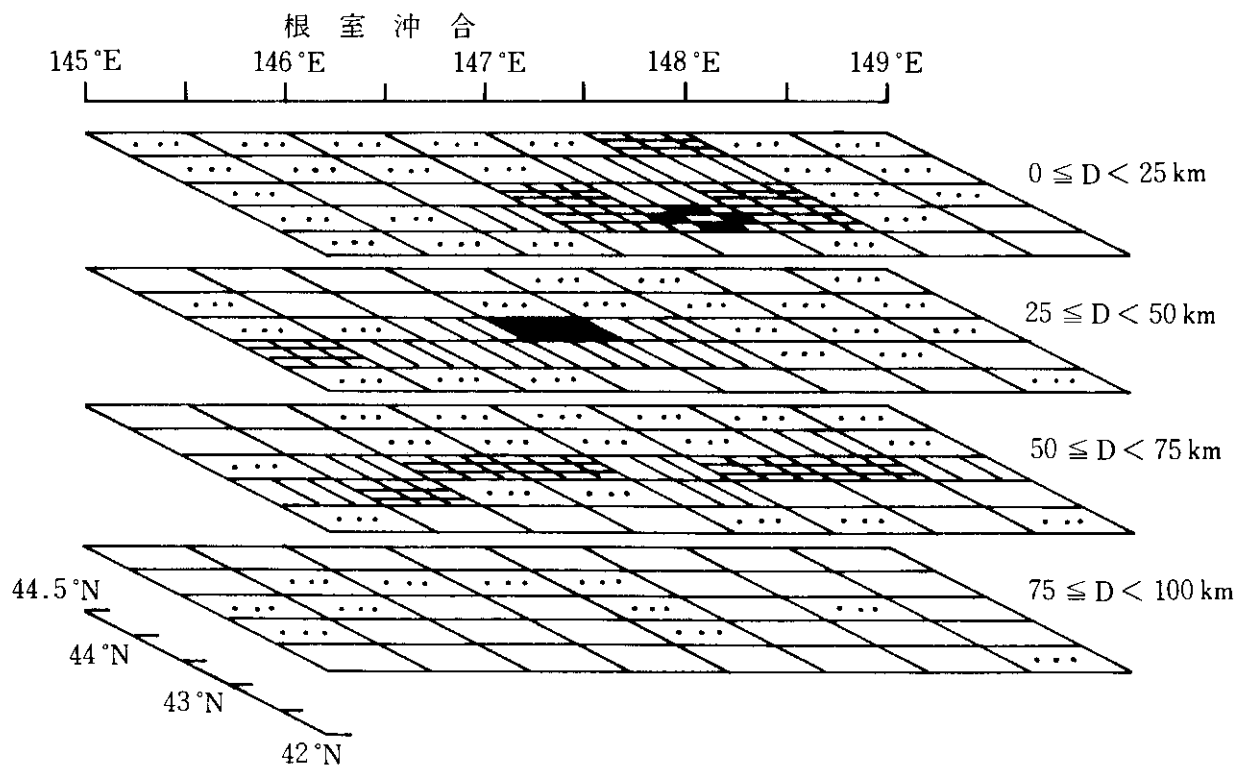


図-9 地震発生個数分布 (凡例は図-8 に同じ)

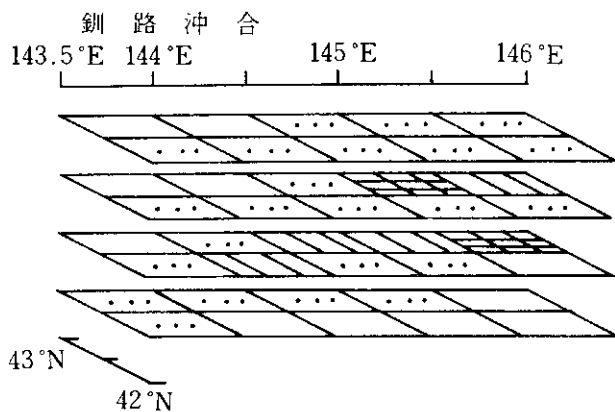


図-10 地震発生個数分布 (凡例は図-8に同じ)

Γ 関数で求まるが、本報ではガウス・ルジャルドン方法による数値積分により G を求めた。

各地震源での地震の発生確率 $P(n)$ は、(4)式で与えられるので、一定の期間 T に加速度 a を超える回数が n 回発生する確率は、(17)式で与えられる。

$$p_N(n) = P[N = n] = \frac{e^{-p_a \nu T} (p_a \nu T)^n}{n!} \dots\dots (17)$$

$$\text{ここに、} p_a = P[A \geq a] = \frac{1}{L} \text{CG} \exp\left(-\beta \frac{\log a}{B_2}\right)$$

土構造物の破壊は、発生回数の少ないきわめて大きな地震外力によって生じると考えられるので、 T 年間に生じる希有な地震を対象とすればよい。いま、 T 年間に期待加速度値 a を超えない確率を $P[a_{\max}^{(T)} \leq a]$ とすれば、(17)式より、

$$P[a_{\max}^{(T)} \leq a] = P[N = 0] = \exp(-p_a \nu T) \dots\dots\dots (18)$$

1年間での最大の加速度の期待値 $a_{\max}^{(1)}$ とし、 $a_{\max}$ と略号して、

$$F_{a_{\max}} = \exp(-p_a \nu) = \exp\left[-\hat{\nu} \text{CG} \exp\left(-\beta \frac{\log a}{B_2}\right)\right] \dots\dots\dots (19)$$

ここに、 $\hat{\nu}$; ν/L である。

さらに、加速度の期待値を超過する確率が小さければ、

$$1 - F_{a_{\max}} = 1 - \exp(-p_a \nu) \cong p_a \nu \cong \hat{\nu} \cdot \text{CG} \cdot \exp\left(-\beta \frac{\log a}{B_2}\right) \dots\dots\dots (20)$$

したがって、加速度 a より大きい等しい場合の平均の再起期間 T_a は、(20)式の逆数で表わされ、

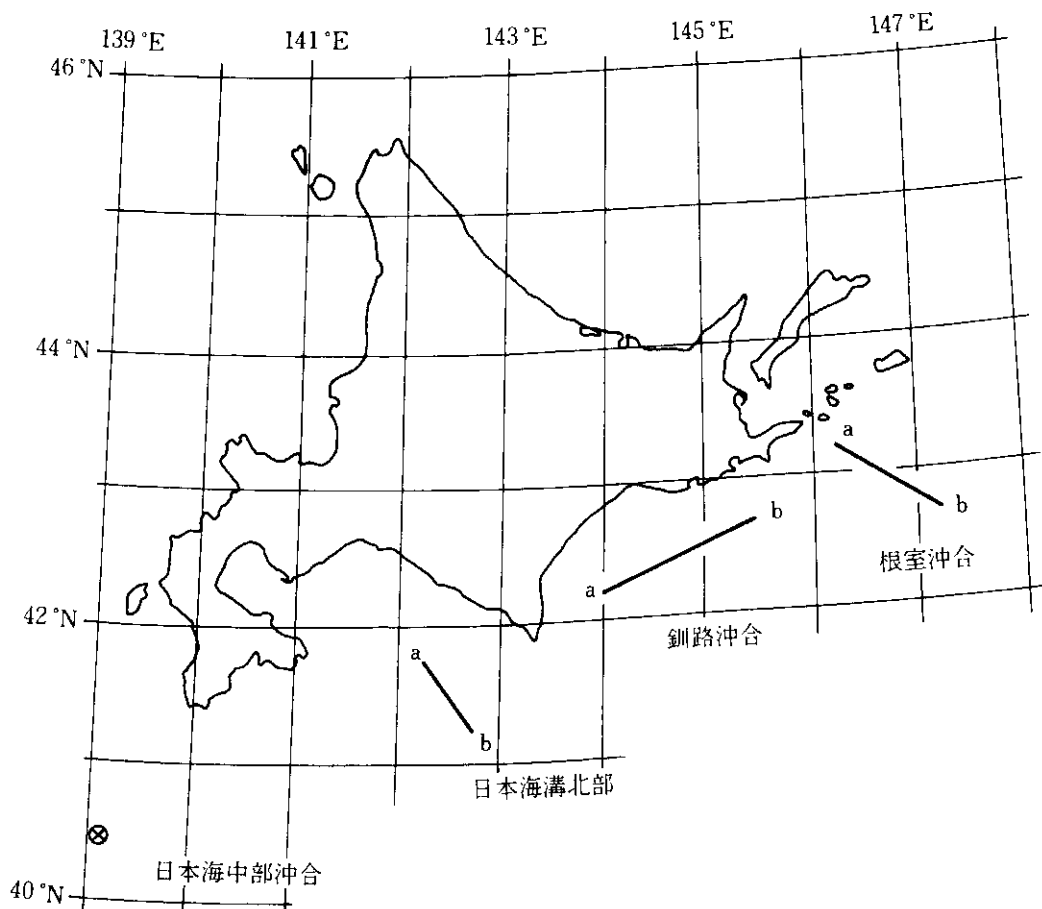


図-11 北海道近傍の線震源および点震源の位置

$$T_a \cong \frac{1}{\hat{C}CG} \exp \left(\frac{\beta \log \alpha}{B_2} \right) \dots\dots\dots (21)$$

よって、T 年間確率の最大加速度は、

$$\alpha = \exp \left[\frac{1}{k} \cdot \frac{B_2}{\beta} \cdot \ln (\hat{C} \cdot C \cdot G \cdot T_a) \right] \dots\dots\dots (22)$$

である。点震源の場合は誘導は除くが、

$$\alpha = 10^S \dots\dots\dots (23)$$

ここに、

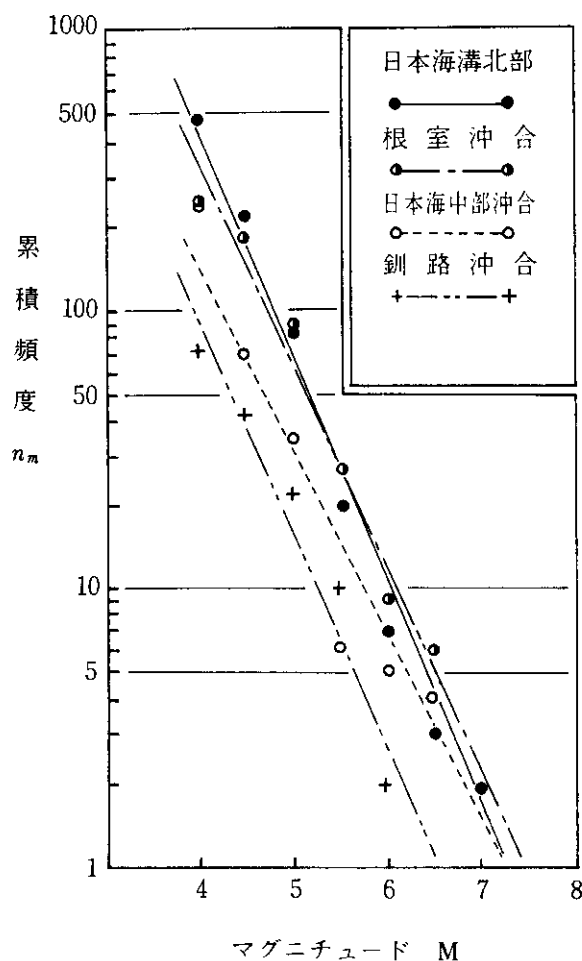


図-12 地震のマグニチュードと累積頻度

$$S = \frac{B_2}{\beta} \ln (\nu T) + B_2 \cdot M_0 + \log B_1 - B_3 \cdot \log r$$

である。

前節では、4つの地震源についてマグニチュードの累積分布などをやや広範に整理した。ここで、地震源を同定するため、その発生状況などをさらに詳細に検討する。図-8～10は、それぞれ日本海溝北部、根室沖合、釧路沖合の地震発生個数について、東経・緯度0.5°、深さ25kmごとの発生分布を見たものである。各ブロックごとに見ると必ずしも線状ではないが、発生震源が比較的小域に集約される。したがって、本報では震源を図-11、表-1に掲げる線震源・点震源とした（日本海溝北部の位置は、1968年十勝沖地震の余震位置付近である）。さらに、地震のマグニチュードMと頻度 n_m の関係など、表-2のように整理し、それぞれの震源上で発生するものとして地表面最大加速度の推定値を計算した（図-12参照）。対象点および地震源は、完全球体の表面および内部に存在するとして、xyz直交座標系における位置は、図-13

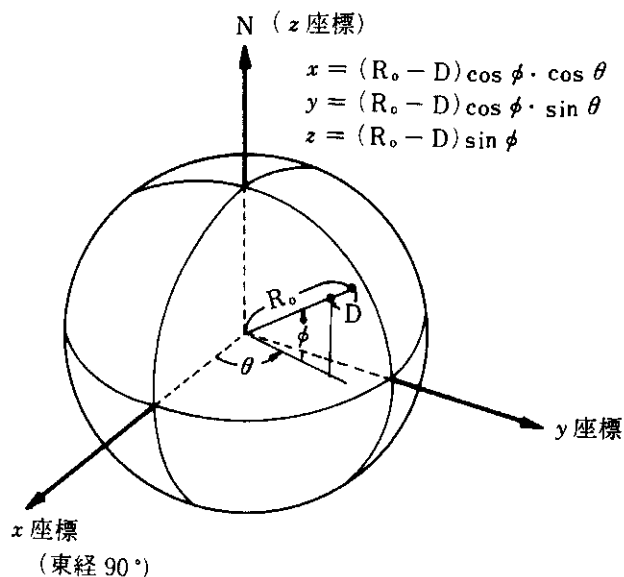


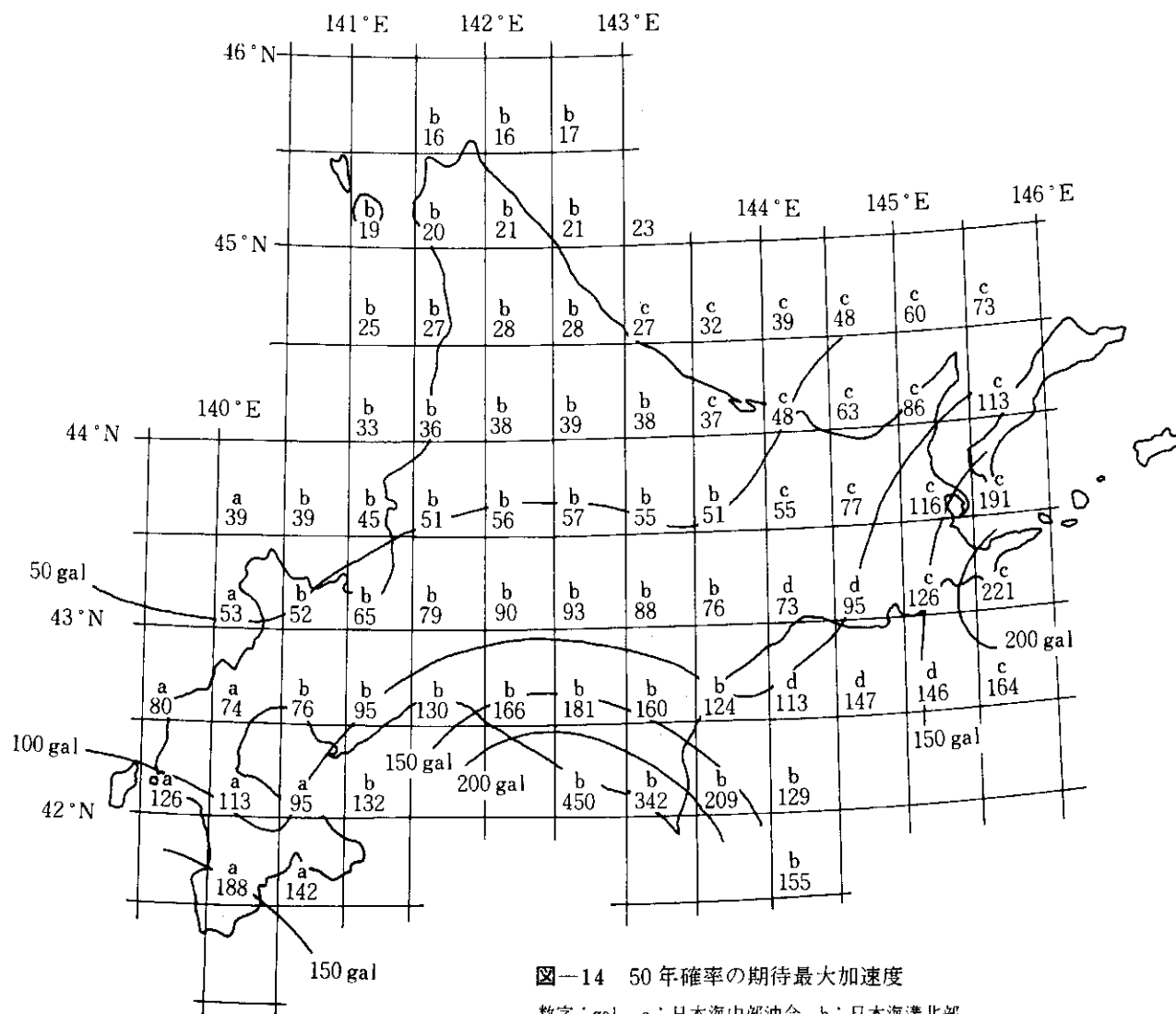
図-13 地球（完全球体）表面上、内部の位置

表-1 震源の位置・大きさ

震源の名称	震源種類	位置		
日本海中部沖合	点震源	東経 139.08°	北緯 40.36°	深さ 14 km
日本海溝北部	線震源	a; 東経 142.25°	北緯 41.75°	深さ 62.5 km
		b; 東経 142.75°	北緯 41.25°	深さ 12.5 km
根室沖合	線震源	a; 東経 146.25°	北緯 43.25°	深さ 50 km
		b; 東経 147.25°	北緯 42.75°	深さ 12.5 km
釧路沖合	線震源	a; 東経 144°	北緯 42.25°	深さ 62.5 km
		b; 東経 145.5°	北緯 42.75°	深さ 62.5 km

表-2 地震のマグニチュードMと頻度 n_m

名 称	資料の範囲 東経・北緯・深さ	年平均発生回数 (回/年)	回 帰 式
日本海中部沖合	$139^{\circ}\leq\sim\leq 139.5^{\circ}\text{E}$ $40^{\circ}\leq\sim\leq 41.5^{\circ}\text{N}$ $0\leq\sim\leq 75\text{ km}$	10.0	$\log n_m = 2.149 - 0.6470(M - 4)$
日本海溝北部	$142^{\circ}\leq\sim\leq 143.5^{\circ}\text{E}$ $41^{\circ}\leq\sim\leq 42.5^{\circ}\text{N}$ $12.5\leq\sim\leq 62.5\text{ km}$	20.5	$\log n_m = 2.635 - 0.8016(M - 4)$
根 室 沖 合	$146^{\circ}\leq\sim\leq 148^{\circ}\text{E}$ $42.5^{\circ}\leq\sim\leq 43.5^{\circ}\text{N}$ $12.5\leq\sim\leq 50\text{ km}$	10.8	$\log n_m = 2.529 - 0.7272(M - 4)$
釧 路 沖 合	$144^{\circ}\leq\sim\leq 146^{\circ}\text{E}$ $42^{\circ}\leq\sim\leq 43^{\circ}\text{N}$ $50\leq\sim\leq 75\text{ km}$	3.09	$\log n_m = 1.988 - 0.7750(M - 4)$



(凡例図)のように求まる。完全球体の半径は、 $R_0 = 6,357 \text{ km}$ (極半径参照) とした。

4. 地表面最大加速度の分布

図-14, 15 にそれぞれ 50 年確率, 100 年確率で期待される地表面最大加速度の分布を示した。両図の作成は、対象点を東経・緯度とも 0.5° ピッチで各震源から期待される加速度を計算し、さらに対象点において各震源のうち最大の加速度を与えるものをその対象点における期待値とした。

図中の数字は、各点の期待加速度値、 $a \sim d$ の文字はそれぞれの震源から期待されるかを示している。両図から北海道南端の日本海側および太平洋側に大きな地表面加速度の期待値が得られていることがわかる。このような分布形状は、特に日本海側 (渡島方面) を除いて、従来提案されている危険度マップと類似している。しかし、加速度の期待値の大きさについては、日本海溝北部

に近い広尾・浦河方面では、従来提案されている加速度値に比べて大きな値となっている。これは、その対称点が震減域に近いことおよび図-7 の経験式からわかるように、震源域が近いと加速度が大きく得られる回帰式となっていることによる。また距離減衰式は、地盤の硬さ・軟弱層の厚さなどによって 3~4 種類に分けて用いられることが多い。本報では、1 種類の距離減衰式を採用したが、その適合度は、堅固とまではいえない港湾・河川橋地盤で計測された 2 つの地震記録で行っており、図-14, 15 の両図は、新耐震設計法の 2 種 (普通) および 3 種 (軟弱) の地盤種別程度の加速度が計算されていると思われる。信頼性の高い最新の地震資料を用いたため、歴史地震資料でいわれる解析精度の問題は解決されたものと思われるが、本報の地震資料はたかだか 23 年間のものであり、将来生ずるであろう大地震を考慮した結果となっているかは、より詳細な検討が必要と思われる。

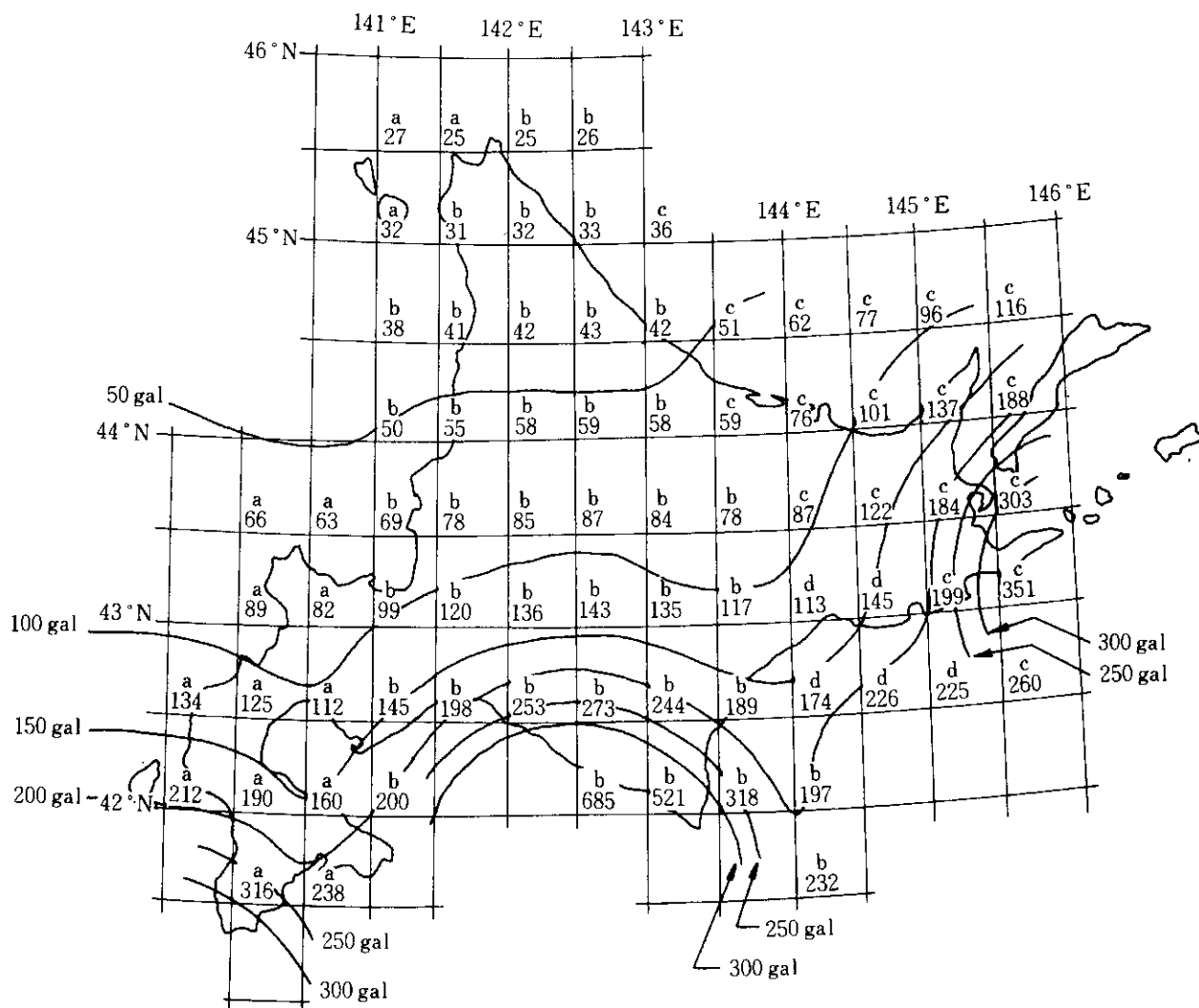


図-15 100 年確率の期待最大加速度 (凡例は図-14 に同じ)

震度
点
よう
とな
き・
られ
月し
可川
-14,
重(軟
つれ
地
思
で
よつ

おわりに

地震時の地盤最大加速度の大きさは、土構造物に有効に有限時間作用する地震の大きさを、直接的ではないが、表わす指標とされる¹³⁾。また、円弧すべり計算に用いるような震度(工学上の震度)に表現するため、破壊事例を逆解析し、最大加速度と震度との関係を求めた研究は多い¹⁴⁾。本報で示した地表面加速度からこのような既研究成果を利用して工学的震度へすり合わせすることもできる。

最後に、本報告の作成に際して、名城大学理工学部の板橋一雄講師に地震資料の提供を受け、さらに貴重な御意見を戴いたこと、また森 富雄氏(三祐コンサルタント株)には調査資料の整理に御協力いただいたことをここに記し、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 土地改良事業設計指針；耐震設計，農林水産省構造改善局建設部
- 2) Haskell, N.A.; Elastic displacement in the near field of a propagating fault, Bull. Seis. Soc. Am., 59 p.p. 865-908, 1969.
- 3) John B. Davies etl.; Source Parameters of Earthquakes, and Disclimation between Earthquakes and Nuclear Explosions, Bull. Seis. Soc. Am., 58, p.p. 1503-1517, 1968.
- 4) Kawasumi, H.; Measures of Earthquake Danger and Expectancy of Maximum Intensity throuout Japan as Inferred from the Seismic Activity in Historical time, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol 29. p.p. 469-482, 1951.
- 5) C. Allin Cornell; Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 58, No 5, p.p. 1583-1606, 1968.
- 6) Hattori S.Y. etl.; Pegional coefficient of earthquakes for a seismic designs, B.R.I. Res. Paper, No. 75 p.p. 1-13, 1977.
- 7) 建設省土木研究所；最大地震動および地震応答スペクトルの推定法(その4)，土木研究所資料第1993号，昭和58年3月。
- 8) 宇津徳治(編纂)；地震の辞典，1987年2月初版，朝倉書店。
- 9) 笠原順二・田中一実；見る地震—コンピュータグラフィックスによる日本の地震，1986年初版，東京大学出版会。
- 10) 1968年十勝沖地震調査速報，土木技術資料10-8，p.p. 29-50，1968.
- 11) 根室半島沖地震調査速報(その1)，土木技術資料15-9，p.p. 42-45，1973.
- 12) 板橋一雄；信頼性理論に基づく斜面および土構造物の耐震設計，研究論文，昭和61年6月。
- 13) 松尾 稔・板橋一雄；斜面および土構造物の耐震性評価に関する研究，土木学会論文集，第352/Ⅲ-2, p.p. 139-147, 1984. 12.
- 14) 野田節男ら；重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，14巻第4号，1975. 12.