



Title	北海道の近殻の水平変動と地震との関係
Author(s)	吉原, 公明; YOSHIHARA, Kimiaki
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 33, 21-30
Issue Date	1975-08-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.33.21
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14048
Type	departmental bulletin paper
File Information	33_p21-30.pdf



北海道の地殻の水平変動と地震との関係

吉原公明

北海道大学理学部地球物理学教室
(昭和49年11月30日受理)

Relation between Horizontal Deformation of the Crust and Large Earthquakes occurred near Hokkaido

By Kimiaki YOSHIHARA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido
University, Sapporo

(Received Nov. 30, 1974)

The crust in Nemuro and Wakkanai District, Hokkaido, Japan was characterized by a large horizontal deformation. Relation between the deformation and earthquakes occurred near Hokkaido was investigated quantitatively by an application of the finite element method to a static field problem. The method was applied to a two layered model which covers in and around Hokkaido and has total thickness of 50 Km. In the investigation, the stress was assumed to be acted to Hokkaido from the trench side in the Pacific Ocean. The average stress drop estimated from large earthquakes in the above region could be taken as 28 bar. The stress rate was assigned to be 0.28 bar/year, by assuming that a large earthquake occurred once in a hundred year.

In the above stress system, the satisfactory agreement between the observed data and the calculated values was not obtained. In order to fit the calculated values on the observed data, an additional stress system in Wakkanai District was required. In a tentative calculation, a rate of the stress was taken as 0.1 bar/year and the stress was assumed to be directed to southeastward. Anomalous large rigidity about twice of the normal one in Monbetsu District was favorable for the fitting.

Distribution of calculated vectors of the horizontal displacements showed a pattern similar to that obtained from the surveys. The proportion of the calculated displacements to that of the observed ones was about 80% in Nemuro and 50% in Wakkanai. On the other hand, the distribution of the calculated dilatation showed a pattern similar to that obtained from the surveys except that in the southwestern part of Hokkaido. The calculated dilatations were about 40% to 50% of the observed values in Nemuro and Wakkanai. Disagreement between the calculation and the observation in the southwestern part of Hokkaido was not understood by the present model.

I. はじめに

北海道においては根室および稚内地方に大きな地殻変動がみられる。そこで水平変動ベクトル、水平ひずみに注目して、それらの量と地震との関係を有限要素法によって定量的に説明することを試みた。旧（1883～1909）と新（1948～1968）の2度にわたる一等三角測量の結果は、水平変動については国土地理院地殻活動調査室（1970）、原田・葛西（1971）その他によって報告されている。

地殻変動の量は2度の測量の間に生じた出来事の結果を表わしていると考えられる。造山運動は出来事の1つであるが100年に満たない2度の測量の期間では変化がないと考えられる。大きな影響を与える出来事は大地震である。ある地域で応力が蓄積され破壊の限界を越えた時に地震が生じ応力が解放される。地震の発生前後で塑性変形をしても、その量が少なければそれは無視される。2度の測量の間には大地震はたかだか1回しか起きていないからである。

II. 北海道の地殻の水平変動

北海道の一等三角測量は、第1回（1902～1909）と第2回（1964～1967）と2度行なわれた。また北海道東部においてトラバース測量が行なわれた。Fig.1, Fig.2 は2度の測量の成果を比較



Fig. 1. Horizontal displacements of the first order triangulation stations in Hokkaido from the old survey (1902-1909) to the new survey (1964-1967) (after CRUSTAL ACTIVITY RESEARCH OFFICE GEOGRAPHICAL SURVEY INSTITUTE 1970).

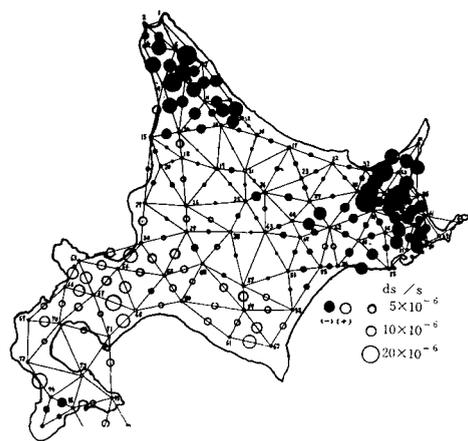


Fig. 2. Distribution of dilatation between the old and the new triangulation.

して、各々北海道（下沢岳）および東北（中岳）の三角点を不動と仮定して計算した変動ベクトル図および辺長伸縮図である。上記のものと異なる点を不動点とすれば変動ベクトル図は当然変化する。原田・井沢（1969）によれば、いくつかの不動点を仮定することは日本全域にわたる地殻の動きには初めから目をつぶることになるが、各不動点を地殻がほとんど変動していないと思われる場所にとればその地方の地殻変動は正しく表わされる。

Fig.1, Fig.2 からわかることは根室地方および稚内地方に大きな変動ベクトルおよび縮みがあることである。また道南地方には大きな伸びがある。稚内地方の南東向きの大きな変動ベクトルは不動点を異なった所に置くことにより解消するかもしれないが縮みは残ってしまう。

これらの変動が海溝付近における地震活動だけで説明がつくか否かを考えてみる。また海溝付近の地震活動だけでなく、たとえば DEN and Hotta (1973) が言っているオホーツクプレートのようなものが残っていて、それが作用しているかどうかを考えてみた。

III. 北海道地方の地殻

本論文では地殻の水平変動を取り扱っているのでマントル以下にはふれない。ここで必要なものは地殻の厚さと弾性定数の平面的なひろがりの分布である。KANAMORI (1963) は重力、屈折波および表面波のデータを使って、日本の地殻の深さを求めているが、これは陸の部分だけに限られている。GNIBIDENKO (1971) は深部地震深査法と重力データから内そうして北海道および北海道周辺の日本海およびオホーツク海の地殻の厚さを求めている。彼の求めた地殻の厚さは北海道中央部で厚すぎるきらいはあるが、現在北海道およびその周辺の海を含む領域をカバーした地殻の厚さについての報告はこれしかないのをこれを地殻の厚さとする。Fig.8 に示してあるのがそれである。ただし日本海の一部については加筆してある。

弾性定数の平面的なひろがりの分布についての報告はない。本論文では後に述べるように剛性率が一定の場合と一部で剛性率が変化する場合とを考えてみた。またポアソン比については0.27と0.25の場合とを考えてみた。

IV. 北海道および北海道周辺の地震活動

地殻の水平変動に影響のある地震として、Fig.3 の浅くかつ大きな地震について調べてみる。Fig.3 は大地震の震源域を示している。Fig.4 はそれを地震の起きるブロックごとに区切って図式化したものである。H は日本海の地震を、I はオホーツク海の地震を表わしている。C ブロックの1968年の地震とF ブロックの1969年の地震およびG ブロックの外側の1963年の地震については、KANAMORI (1970, 1971) や ABE (1973) らがメカニズムを調べてソースパラメータを求めた。それらの値は Table 1 に示されている。Fig.5 はそれらの slip vector を示している。3個の地震の slip vector は互いに平行ではあるが、かならずしも千島海溝に垂直ではない。約14度ずれ

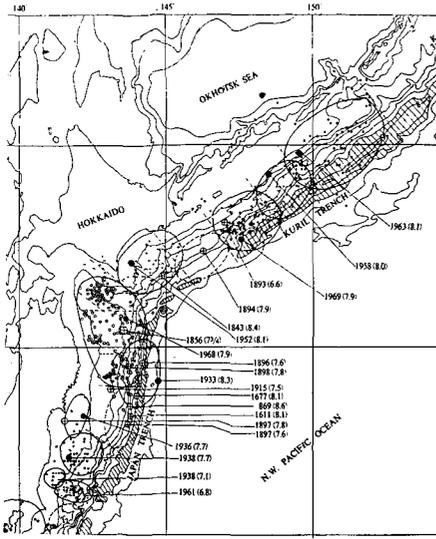


Fig. 3. Distribution of source regions of large earthquakes near Hokkaido (after NAGUMO 1973).

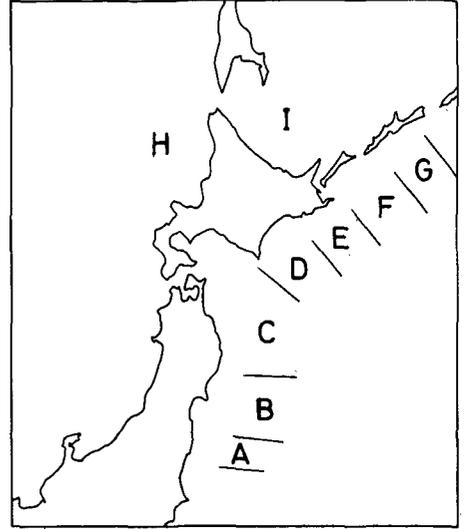


Fig. 4. Schematic representation of the distribution of large earthquake blocks.

ている。この3個以外の地震については詳しく調べられていないが、3個の地震が互いに似ていることから他の地震も同じ様な地震であろうと予想される。

Cブロックで起きた1968年の地震の余震については岡田・本谷(1970)が詳しく調べているが、その余震の中の最大余震(M7.5)が正断層である。KANAMORI(1971)は千島海溝と日本海溝との出会いの部分でのCブロックとDブロックとの相互作用の結果により正断層の地震が生じたとしているが、Fig.2のように道南地方の伸びのひずみがこの地域の正断層の地震と対応していることは注目に値する。Hブロックでは1940年積丹沖地震(M7.0)および

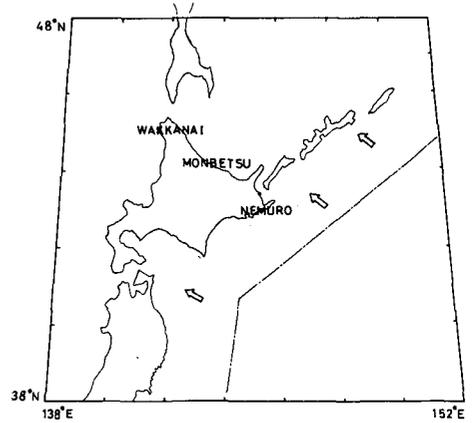


Fig. 5. Slip vectors of the three large earthquakes. A dot-dashed line is the axis of the trench.

Table 1. Source parameters of large earthquakes near Hokkaido

	Stress Drop bar	Rigidity 10^{11} dyn/cm ²	Strain Drop 10^{-4}	Seismic Moment 10^{28} dyn cm	
1963	23	7	0.32	7.5	Kanamori (1970) Kanamori (1971) Abe (1973)
1968	32	4.5	0.71	2.8	
1969	29	5	0.58	2.2	
Mean	28	5.5	0.54	4.2	

1947年留萌西方沖地震 ($M7.0$) が起きている。Iブロックでは大地震は起きていない。

宇津 (1972) は北海道周辺では90年から110年周期で大地震が起こるとしている。ここでは簡単のために100年周期で地震が起こるとする。東北地方の状態は北海道周辺とは異なるだろうが、一応100年周期で地震が起こると考えることにする。

V. モデルの設定

MOGI (1970) は北海道を除く日本について水平変動ベクトルと地震との関係を調べた。彼は海溝に垂直な応力が卓越するとして、地震発生前は水平変動ベクトルは陸側に向き、地震発生後は海側に向くことを定性的に説明した。

JUNGELS and FRAZIER (1973), SHIMAZAKI (1973) その他はある断面をとって、その断面での地震発生前後の地殻変動について、有限要素法を用いて定量的に論じた。

本論文では北海道の地殻の水平変動と海溝付近での地震との関係および日本海側での地震との関係について有限要素法を用いて定量的に論じる。有限要素法については、たとえばZIENKIEWICZ (1970) 等に詳しく述べられている。

Fig.6 に示すように海溝から西側の北海道、オホーツク海、日本海、サハリンおよび沿海州の一部を含む部分を取りだした。Fig.7 はFig.6 を立体的に表わしたものである。F は外力を表わし、地下は2層構造になっている。Fig.8 は前述のGNIBIDENKO (1971) が求めた地殻の厚さの分布である。Fig.9 は上述の地域を三角形の要素に分割した図である。モデルとして厚さ50kmまでを取りあげ、地殻と上部マントルとの2層に分けて、各々の剛性率を $3.8 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2$ および $7.2 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2$ とした。三角形の各要素に対して地殻の厚さ、剛性率およびポアソン比を与えた。

境界条件としては、沿海州において変動を0とし、千島海溝に垂直な境界面上では tangential stress を0 とし、また平面応力場を仮定した。

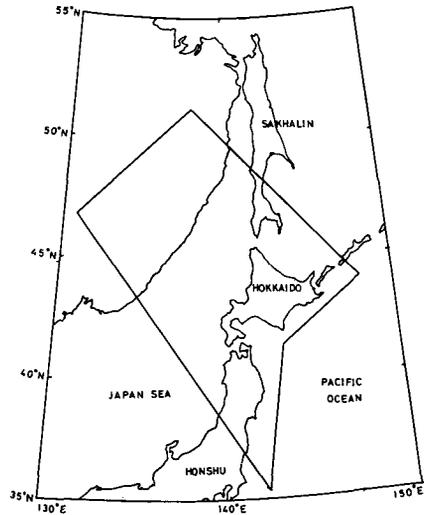


Fig. 6. The area to which the finite element method was applied.

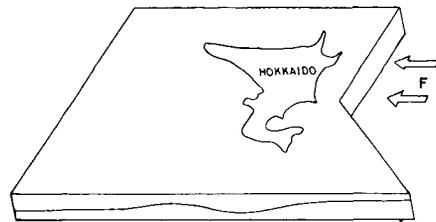


Fig. 7. Two layered model of total thickness of 50km. F indicates external force.

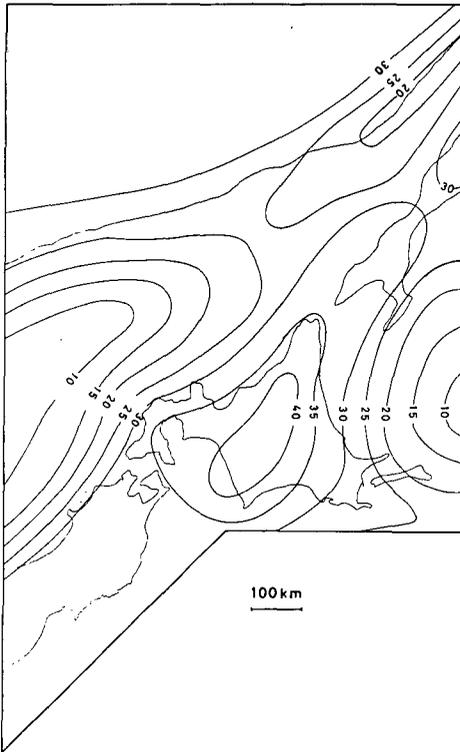


Fig. 8. Distribution of the crustal thickness in km (after GNIBIDENKO 1971).

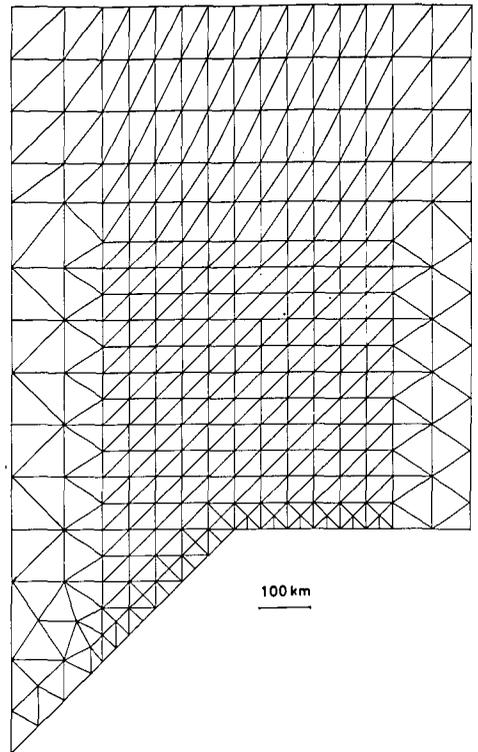


Fig. 9. A finite-elements grid used in this study.

VI. 外 力

坪川 (1968) によれば、大地震の発生は連続定常的な外力場の進行にほとんど影響を与えない。stress drop は Table 1 の平均値 28bar を採用し、dip angle は20度を仮定した。

前述のように100年おきに大地震が起きるとする。つまり定常的に応力が上昇し、100年間に応力は28bar になって地震が起き、応力が解放される。その後また一定の割合で応力の上昇が繰り返される。

2度の測量の年を代表値として各々1905年と1967年とする。地震が起きた直後の応力状態を基準としてこれを0とする。1905年の応力状態はそれ以前の地震の起きた年からの年数によって決まる。1967年の応力状態も同様に決められる。たとえばDブロックに着目すると、1952年に地震が起きているから、1967年の応力状態は

$$(1967 - 1952) \times 0.28 = 4.2 \text{ (bar)}$$

となる。

第1回と第2回の測量の間の62年間の地殻変動の量は、その間の応力状態の差と同等である。

見方を変えれば1967年の応力状態によって生じた変動と、1905年の応力状態によって生じた変動とを差し引きすれば、その間の変動が求まる。

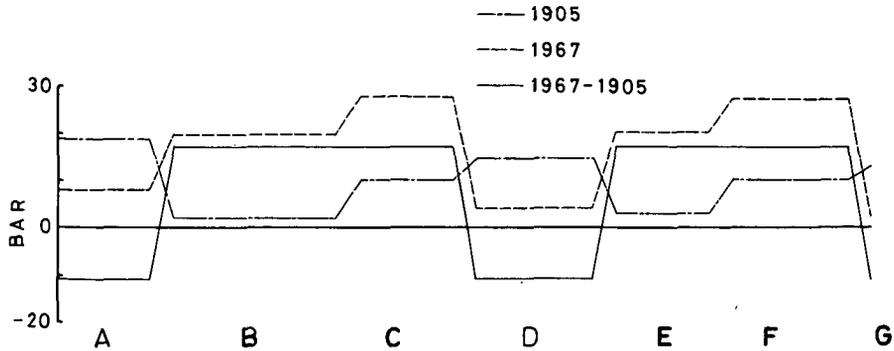


Fig. 10. Distribution of stresses in the Pacific side inferred from the study of large earthquakes. The stress is constant in each block.

Fig.10は上述のようにして求められた応力分布である。AからGはブロックに対応する。また stress drop は各ブロックに当たる震源域全体の中で一定とする必要はない。stress drop の値は震源域の中の全体の平均値である。各ブロックが独立的であるということから、ブロックの境界では stress drop は小さいと考えられる。ここではブロックの中心で stress drop が平均の stress drop の2倍であり、ブロックとブロックとの境界を0とする。このように仮定された応力分布は Fig.11 のようになる。また日本海側については確かなことはわからないが、稚内沖に南

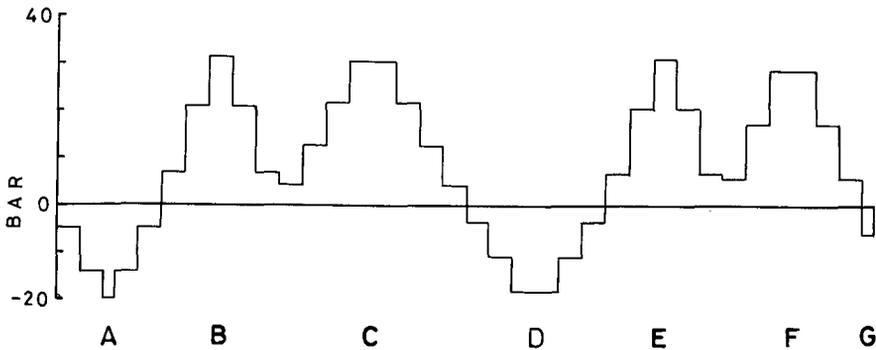


Fig. 11. Distribution of stresses in the Pacific side as in Fig.10 except the stress is distributed for the grid scale.

東向きに0.1bar/yearの応力が蓄積されて行く場合も考慮してみた。以上考慮すべき内容の分類は次のようになる:

1. 外力

Fig.11の応力分布が陸側に向かって海溝に垂直に作用する場合、 (F-1)

(F-1)と一緒に稚内沖に応力が作用する場合。 (F-2)

2. 剛性率の分布

水平方向に均質な場合

(G-1)

紋別地方で他の地方の2倍の剛性率を持つ場合

(G-2)

3. ポアソン比

0.27の場合

(P-1)

0.25の場合

(P-2)

VII. 計算結果および議論

Fig.12 は計算によって求められた水平変動ベクトル図である。黒丸は Fig.1 と同じ不動点の位置を表わす。Fig.13 は同じく辺長伸縮図である。図中の記号は前述の種々の条件を表わして

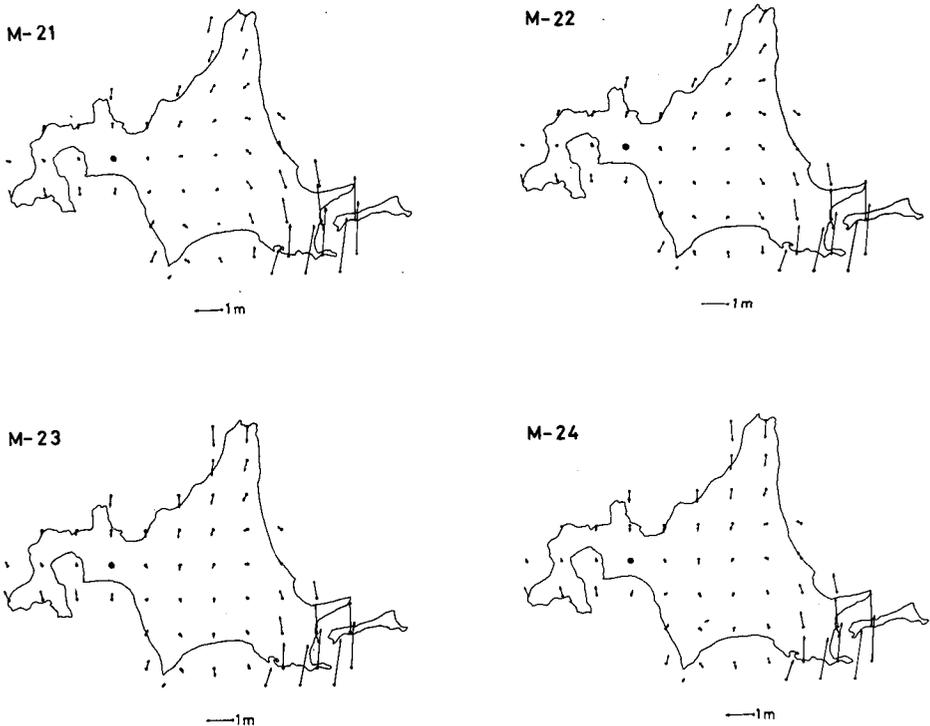


Fig.12. Distribution of calculated horizontal displacements. The solid circle indicates the fixed point. M-21: The stress system is given near the trench side and normal to the trend of the Kurile trench. The crust is horizontal homogeneous. M-22: The stress system is same as M-21. Rigidity of the crust in Monbetsu district is two times as large as the value in the surrounding region. Poisson's ratio is 0.27. M-23: Condition is same as M-22 except the stress system. There is additional stress system with direction of southeast off Wakkanai. M-24: Condition is same as M-23 except Poisson's ratio. Poisson's ratio is 0.25.

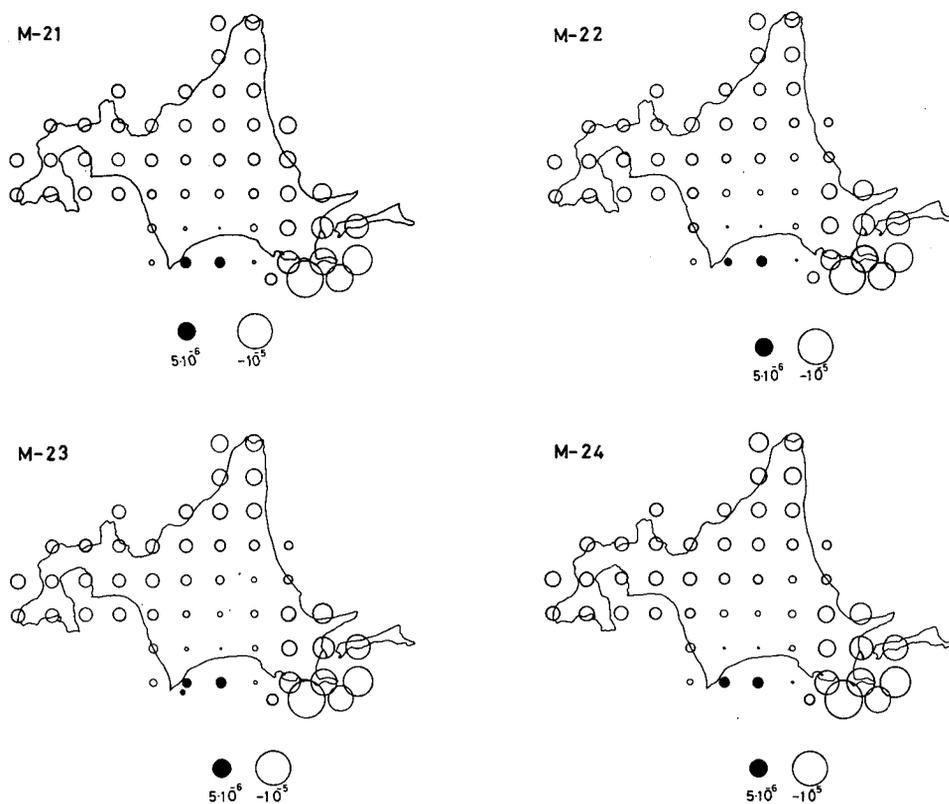


Fig. 13. Distribution of calculated dilatation. M-21 etc. are same as in Fig. 12.

いる。M-21は (F-1) (G-1) (P-1) の場合を、M-22は (F-1) (G-2) (P-1) の場合を、M-23は (F-2) (G-2) (P-1) の場合を、M-24は (F-2) (G-2) (P-2) の場合を意味しており、Fig.12 および Fig.13 に共通である。

Fig.12 の4個の図は Fig.1 と相対的な分布は類似している。しかし海溝からの応力しか考慮していないM-21およびM-22は稚内地方で変動ベクトルの向きが Fig.1 と比較して45度程度西に向いてしまう。Fig.13 では、地殻の剛性率の分布を均質としたM-21は紋別地方の縮みが Fig.2 と比べて大き過ぎ、稚内地方では小さ過ぎる。Fig.13 の4個の図においてはいずれも道南地方の伸びと縮みのパターンが Fig.2 の逆である (Fig.2 と Fig.13 とでは黒丸と白丸とが逆の意味を持つ)。より良い測量値との一致はM-23およびM-24である。M-23およびM-24においては水平変動量の計算値と測量値との比は根室地方で80%、稚内地方で50%である。また伸縮量の計算値と測量値との比は根室および稚内地方においては40%から50%である。Fig.10 の応力分布から求められた変動図と Fig.11 の応力分布から求められた変動図とはほとんど変わりがなかった。

以上のように、根室地方の大きな縮みは海溝側からの応力で説明される。稚内地方の大きな縮みに対してはやはりなにかの応力が日本海側から作用していると考えられる。この計算にお

いて与えられた0.1bar/yearより大きいだろう。紋別地方での変動が小さいのはこの地方の地殻が他の地方の地殻の状態と異なるためかもしれない。このことはこの地方では地震が非常に少ない事実とも対応しているかもしれない。道南地方における伸縮量の計算量と測量値との不一致はこの地方が千島海溝と日本海溝との出会いの部分にあたるので、地殻構造が複雑のためだろう。

有限要素法のプログラムは戸松氏より譲っていただき、それを加筆修正して使用した。また有益な助言をして下さった北海道大学地球物理学教室の皆様へ感謝する。この計算には北大大型計算機センターのFACOM 230-60を使用した。

文 献

- ABE, K., 1973. Tsunami and mechanism of great earthquakes. *Phys. Earth Planet. Interiors.*, **7**, 143-153.
- DEN, N. and HOTTA, H., 1973. Seismic refraction and reflection evidence supporting plate tectonics in Hokkaido. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **24**, 1, 31-54.
- G NIBIDENKO, H., S., 1971. 樺太・千島およびカムチャッカの地質と深部構造。島弧と縁海，東海大学出版会，5-16.
- 原田健久・井沢信雄，1969. 日本の地殻の水平変動—多固定点による解—。測地学会誌，**14**，101-105.
- 原田健久・葛西篤男，1971. 最近60年間における日本の地殻の水平歪。測地学会誌，**17**，4-7.
- JUNGELS, P. H. and FRAZIER, G. A., 1973. Finite element analysis of the residual displacements for an earthquake rupture: Source parameters for the San Fernando Earthquake. *J. Geophys. Res.*, **78**, 5062-5083.
- KANAMORI, H., 1963. Study on the crust-mantle structure in Japan. Part 1, analysis of gravity data. Part 2, interpretation of the results obtained by seismic refraction studies in connection with the study of gravity and laboratory experiments. Part 3, analysis of surface wave data. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **41**, 743-818.
- KANAMORI, H., 1970. Synthesis of long period surface waves and its application to earthquake source studies—Kurile Islands Earthquake of October 13, 1963. *J. Geophys. Res.*, **75**, 5011-5027.
- KANAMORI, H., 1971. Focal mechanism of the Tokachi-Oki Earthquake of May 16, 1968: Contortion of the lithosphere at a junction of two trenches. *Tectonophysics*, **12**, 1-13.
- 国土地理院地殻活動調査室，1970. 北海道地方の一等三角改測結果。地震予知連絡会報，**2**，3-5.
- Mogi, K., 1970. Recent horizontal deformation of the earth's crust and tectonic activity in Japan (1) *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**, 413-430
- 南雲昭三郎，1973. 関東大地震50周年論文集，東京大学地震研究所，290-291.
- 岡田弘・本谷義信，1970. 1968年十勝沖地震の余震活動。北海道大学地球物理学研究報告，**24**，141-165.
- SHIMAZAKI, K., 1974. Pre-seismic crustal deformation caused by an underthrusting oceanic plate, in eastern Hokkaido, Japan. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **8**, 148-157.
- 坪川家恒，1968. 測地。地震予知研究シンポジウム講演集，12-21.
- 宇津徳治，1972. 北海道周辺における地震と根室南方沖地震について。地震予知連絡会報，**7**，7-13.
- ZIENKIEWICZ, O. C., 1970. The finite element method in engineering science. McGraw-Hill, London, 521 pp.