

## 15. 北米大陸のC.A.

西田泰典・山下清

(北海道大学理学部地球物理学教室)

### I. 北米大陸西部のC.A.

すでに西海岸部のC.A.に関しては笹井(1967)により、又内陸部西側に関しては力武(1970)により総合報告がなされているが、本章においてはそれ以降の観測で得られたC.A.情報を報告する。

i) 1968年夏、Porath & Gough (1971)は、1967年、Reitzel等(1970)により観測された領域(北緯 $36^{\circ}$ - $43^{\circ}$ 、西経 $101^{\circ}$ - $116^{\circ}$ )の南側でarray観測を行った。その測点分布はFig 1図に示されるが(白丸は1967年、黒丸は1968年)、1967年の観測と同様、4本のラインが東西方向に分布している。又2図は1968年8月16日のsubstormの記録例である。一番北側の測線(Line 1)をみて顕著なことは、東向き(西向き)の水平成分の変化に対し、南ロッキーの東側(SPR)で大きい $\Delta Z$ が観測され、それと同時にロッキーの西側で(GOC)逆転した $\Delta Z$ が観測されたことである。このような現象は1967年の観測の際にもロッキーを挟んで現れてあり、ロッキーの下に南北方向の電流が集中して流れることを示唆している。更に西へゆき、Colorado PlateauとBasin & Range Provinceの境界では、Basin & Range Province下での高電気伝導度の影響によるものと思われ

るΔZの増大が認められる(PAGとKAN)。Line 2においても同様の傾向があり、ロッキーの東西両端(GLNとSNF)においてΔZの逆転がみられる。しかしながらColorado PlateauとBasin & Range Provinceの間の異常はかなり減少し、又その境界は東方へ移っているように見える。一番西端のMOJはシエラネバダの端に位置しており、ΔZの強い逆転がみられる。これはシエラネバダでの電気伝導度がBasin & Range Provinceのそれと比べて低いことを示しているよう。Line 4に関してはGreat PlainにあるCLBのΔZが大きいくと、Rio Grande Rift Valleyまたはその西隣りのDEMでわずかにΔZが逆転していることが特徴的であり、これはRio Grande Rift Valley下に電流が集中したためと思われる。

以上が大体の記録の特徴で、その記録をスペクトル解析し、その解析結果に合うような電気伝導度モデルを考える訳であるが、まず地表の堆積物や地殻下部に相当と思われる伝導度を持つ良導体を仮定してみると、いずれも位相差や振りの周期特性を説明することが困難であることがわかった。従って異常の原因を上部マントル内に考えざるを得ないことになる。そこで得られたモデルが次の図と次の図である。次の図は次の図に示された東西プロファイルに沿った構造であり、次の図はニューメキシコ南部のRio Grande Rift Valleyを東西に切った断面構造である。これを見ると、やはりBasin & Range Provinceやロッキー山脈の下で良導層がもち上がっている傾向は変わらない。著者は5 ohm-mの

良導層の实体を鉱物実験データ (Schult & Schober (1969), Hamilton (1965), Hughes (1955)) などから、千数百度の温度によるものと考えている。地殻熱流量の測定結果からは Basin & Range Province とロッキーでは高熱流量、そして Colorado Plateau と Great Plain では normal な熱流量が得られている (Roy et al. (1968))。又地震波の観測結果からも Colorado Plateau と Great Plain 下の低速度層は深く薄いことが示されており (Julian (1970))、これら他の地球物理学的データともこの解釈は調和している。

なお、記録中 Line 1 の LEO にみられる大きな  $\Delta Z$  と Line 3 の DAL にみける  $\Delta Z$  の反転は南東オクラホマの Anadarko Basin の良導堆積物に電流が集中したために起ったものと考えてあり、ロッキー山脈の異常の延長と考えた Carter, Cannon & Livingstone (1967) の説に反対している。

ii) 1969年夏、アルバート大学とテキサス大学の手で43台の変化計を用いた C. A. 観測が行われたが、その結果が Camfield, Gough & Porath (1970), Porath, Gough & Camfield (1971) により報告されている。それによると測点は図5にみられる如く、アメリカ合衆国北西部およびカナダ南西部を含む領域に東西4本の array として分布している。その記録例が図6である。全般的傾向としては西へゆく程  $\Delta Z$  の振巾が小さくなっており、西側での良導層の持ち上りを示唆している。又 Line の東端をみると、Line 2 で BEL の  $\Delta Z$  の振巾が大きく、Line 4 では FMD と HIL の間で  $\Delta Z$  がは

キリと逆転してあり、その時 HIL の  $\Delta D$  も normal / を振巾の  
2 倍にもなっていることが特徴的である。このように大きく  
又狭い巾 (FMD と HIL の間は 70 km 程度) で起っている異  
常は、その原因と上部マントルの構造に持つことは困難であ  
り、地殻内部に求めねばならない。この一帯は Black Hill  
uplift, Cedar Creek anticline をして Williston basin  
等の構造で成り立っているが、著者はこれらとれもが異常に  
関係しているとみている。地殻熱流量は 2.0 H.F.U. と高い  
が温度のみでこのような細い異常を作ることは無理ということ  
で、基盤の高伝導 graphite schist の分布がその原因では  
ないかと想像している。

この局地的異常を別として、北ロッキーを横切る東西の  
断面における電気伝導度の分布は  $\gamma 7$  図で推定されている。

iii) White (1973 又) は北部カリフォルニア湾を横切る測  
線およびカリフォルニア湾のすぐ北側を東西に走る測線上で  
C. A. 観測を行った。その測点分布は  $\gamma 8$  図である。その観  
測より得られた induction vector を周期別に  $\gamma 9$  図に示  
すが、それをみると短周期になるに従いカリフォルニア湾の軸  
の両側で vector が反転していることがわかる。従ってその軸  
上または下部に良伝導的な物質が存在していることが推定さ  
れる。ところで  $\gamma 10$  図にみる如く上記両測線 A-A', B-B'  
下には相当厚い良導堆積物が積っていることがすでに報告さ  
れており、この堆積物が  $\Delta D$  の反転に寄与していることは十分  
予想される。そこで上部マントルのある深さに良導層を水平に  
置き、周波数別に堆積物の影響を計算したところ、B-B' 測

線に於いては不意に高い伝導度の堆積物を仮定しなければ観測値を説明することが出来ないことがわかった。結局著者は図11図-図13図にみるように、カリフォルニア湾の真下に更に良導層の盛り上りを付け加えて観測値を説明している。A-A' 測線については観測値を完全に説明することは出来ないが特に上部マントル良導層の盛り上りを置かなくても良さそうである(図14図)。

White (1973b) は中部カリフォルニア湾地方に於いても、湾をはさんで C.A. 観測を行っている。その測点分布は図15図に、又周波数別の induction vector は図16図に示される。にもかかわらず、特に短周期において、湾をはさんで4区の反転現象が起っている。図17図の A-A', B-B' 断面について推定された構造が図18図および図19図である。それとみるとやはり湾の下の堆積物だけでは観測値の説明は不可能のようで、上部マントル良導層の盛り上りを置いている。この上部マントル良導層の盛り上りについて著者は海嶺にみられるような spreading の中心で、いわゆる局所的な hot spot を示すものと考えている。実際のモデル計算は盛り上りが湾に平行に無限に続くような2次元モデルを仮定してなされているので、hot spot のようなより局所的な現象を適切に表現していない。おそらく実際の良導層の盛り上りの高さは計算値より高く(浅く)なるであろう。

## II. カナダ大西洋岸の C.A.

カナダの大西洋岸の C.A. 観測は、Srivastava & White (1971) 及び

Hyndman & Cochrane (1971)などによって論じられている。後者の方が測点も多く、前者の範囲も含んでいるので、ここでは、後者に従ってこの地域のC.A.を紹介する。

※20図は、上からそれぞれ、周期が、5分、20分、60分のtransfer functionから求めたinduction vectorである。60分及び20分の周期では、大西洋に対しての海岸効果が見られ、5分の周期では、St. Lawrence河、Cabot海峡、その他湾などに対しての異常があるわれている。又、どの周期についても、Sable Island (SI)における値が小さいというのも、この地域の特徴である。

初めに、海岸効果について述べる。※21図は、60分の周期について、transfer functionのin phase partを、実線の縦棒付きの点であらわし、海深400mからの距離に対して描いたもので、縦棒は誤差を示している。図中の2本の点線は、左下のものが、テクトニクに活動的な北西アメリカ及び東オーストラリアでのC.A.から求めたもので、右上のものが、安定である南西オーストラリアでのC.A.から求めたものである。又、破線の縦棒付きの点は、後に述べるように、伝導性の地殻の端からの距離に対して描いたものである。St. Jones (SJ)については、ラブラドル海からの距離についても示してある。海深400mからの距離に対して、(SI)の値は小さく、他の測点は2本の点線の間にはいる。この(SI)の値の小さいことは、カリフォルニア沖とは対象的である。これは、この地域の大陸棚が伝導性の地質であることを示している。つまり、この地域の海岸効果は、伝導性地殻のedge effectと考えられる。そして、このように考えるならば、SI

以外の点の値は、左下の点線に近く、それよりやや高い。すなわち、この地域の深部の電気伝導度は、テクトニクスに活動的な地域と安定な地域との間の値を持つことになる。

次に前述の局地的な異常について、考えてみよう。第20回の5分周期において、induction vector が導体、つまり河とか湾、海峡などを向くことから、それらへの電流の集中が原因と考えられる。そこで、 $\sqrt{2.3}$  の深さ ( $\beta$  は skin depth) に image current を考えた、薄層導体のモデルで計算を行った。但し、Cabot 海峡や湾は二次元で扱うには複雑なので、St. Lawrence 河について計算し、(MA) の点に関して、観測との比較を示したのが第22回である。この回に見られるように、両方の結果がよく合うことから、電流の量は局地的な誘導によるものと一致していると思われる。このことは、海峡や湾についても成り立っていると考えられる。又、St. Lawrence 河に集中した電流の行先であるが、最近の報告によれば、第23回のように流れて行くのかもしれない (Pitcher, Kurtz, Edwards, Bailey & Garland (1973))。又、St. Lawrence 河は Canadian shield と Appalachian region の境界に当り、その境界面からマントルへ、電流が流れて行くことも充分考えられる。

最後に、この地域を大西洋の海岸線について二次元断面で近似し、地下構造を推定した。観測からの束縛条件は、① (SI) においては、周期にかかわらず、値は小さい。② (EM) では、短周期及び長周期で急速に値が小さくなる。(第24回参照) ③ 海岸効果は海岸から 400 km まで及ぶ。(第21回参照) の三つである。これらと、最近のボーリングや地震探査の結果及び種々の堆積

層の電気伝導度、熱流量の測定値、大西洋での物理探査の結果などを使い、Swift (1971)の方法で計算し、求めたモデルが第25図である。①の条件から15km深に、伝導層を置いたが、堆積層の伝導度が高くなれば、必要はない。又、この伝導層はHydrated crustと考えたのは、熱流量を、この層の脱水作用で説明するためである。又、堆積層の高伝導度は、岩塩あるいは蒸発岩の層が塩水を間隙水として持っているためと考えられる。この部分はボーリングの結果から、細かい伝導率を与えた。



参考文献

- Camfield, P. A., D. I. Gough & H. Porath, (1970). Magnetometer array studies in the north-western United States and south-western Canada. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 22, 201-221.
- Caner, B., W. H. Cannon & C. E. Livingstone, (1967). Geomagnetic depth sounding and upper mantle structure in the Cordillera region of western North America. *J. Geophys. Res.* 72, 6335-6351.
- Hamilton, R. M., (1965). Temperature variation at constant pressure of the electrical conductivity of periclase and olivine. *J. Geophys. Res.* 70, 5679-5692.
- Hughes, H., (1955). The pressure effect on the electrical conductivity of peridot. *J. Geophys. Res.* 60, 187-191.
- Hyndman, R. D. & N. A. Cochrane, (1971). Electrical conductivity structure by geomagnetic induction at the continental margin of Atlantic Canada. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 25, 425-446.
- Julian, B. R., (1970). Regional variations in upper mantle structure in North America. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 51, 359 (abstract).
- Pitcher, D., R. Kurtz, R. N. Edwards, R. A. Bailey & G. D. Garland, (1973). Electrical conductivity studies over a tectonically active area in eastern Canada. *I.A.G.A.*

Bull. No. 34, 347.

Porath, H. & D. I. Gough, (1971). Mantle conductive structures in the western United States from magnetometer array studies. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 22, 261-275.

Porath, H., D. I. Gough, & P. A. Camfield, (1971). Conductive structures in the north-western United States and south-west Canada. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 23, 387-398.

Reitzel, J. S., D. I. Gough, H. Porath and C. W. Anderson III, (1970). Geomagnetic deep sounding and upper mantle structure in the western United States. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 17, 213-235.

力武衛次, (1970). 最近の CA 情報. シンポジウム<sup>↑</sup>「日本列島下の熱的構造」講演集, 1-42.

Roy, R. F., E. R. Decker, D. D. Blackwell and F. Birch, (1968). Heat flow in the United States. *J. Geophys. Res.* 73, 5207-5221.

笹井洋一, (1968). 北米大陸太平洋岸の異常. Conductivity Anomaly Symposium 講演集, 81-94.

Schult, A. & M. Schöber, (1969). Measurement of electrical conductivity of natural olivine at temperature up to 950°C and pressures up to 42 Kbar. *Zeitschr. Geophysik* 35, 105-112

Srivastava, S. P. & A. White, (1971). Inland, coastal,

- and off shore magnetotelluric measurements in eastern Canada. *Can. J. Earth Sci.* 8, 204-216.
- Swift, C. M. Jr., (1971). Theoretical magnetotelluric and taram response from two-dimensional inhomogeneties. *Geophys.* 36, 38-52.
- White, A., (1973 a). A geomagnetic variation anomaly across the northern Gulf of California. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 33, 1-25.
- White, A., (1973 b). Anomalies in geomagnetic variations across the central Gulf of California. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 33, 27-46.

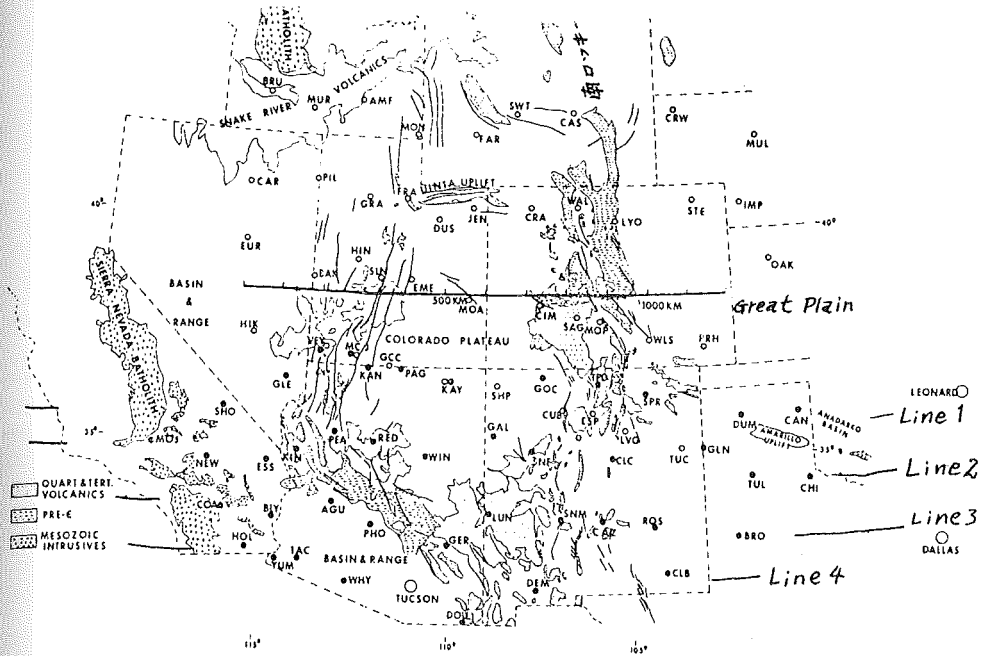


Figure 1 Variometer arrays of 1967 (circles) and 1968 (dots) on a simplified tectonic map of the south-western United States.

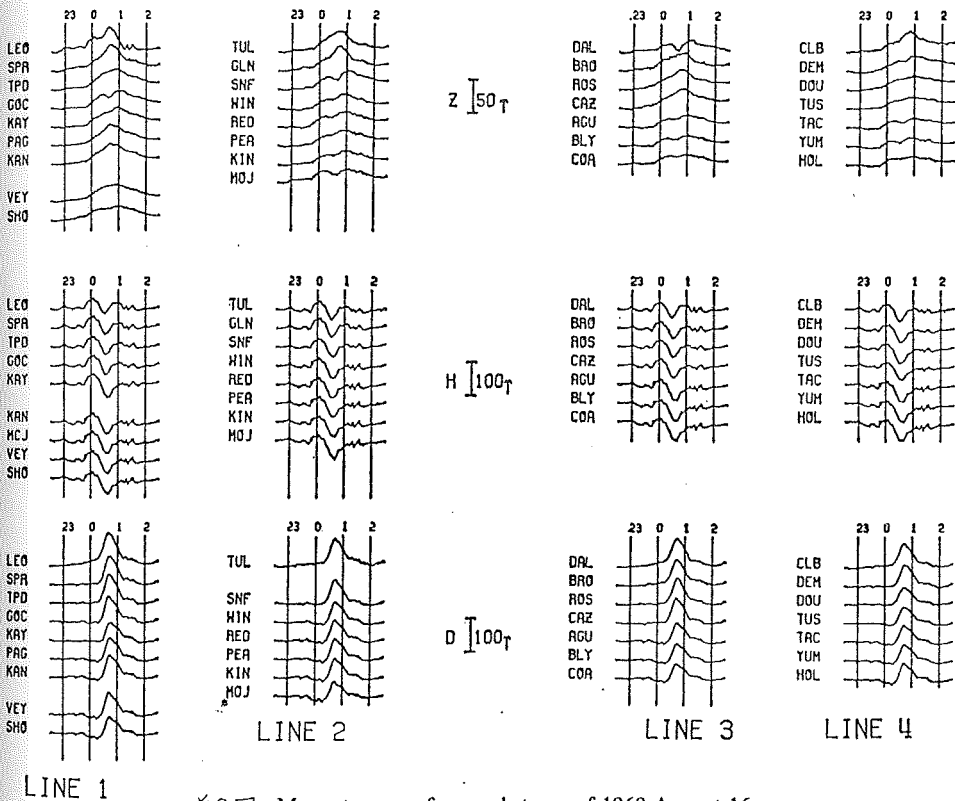


Figure 2 Magnetograms for a substorm of 1968 August 16.

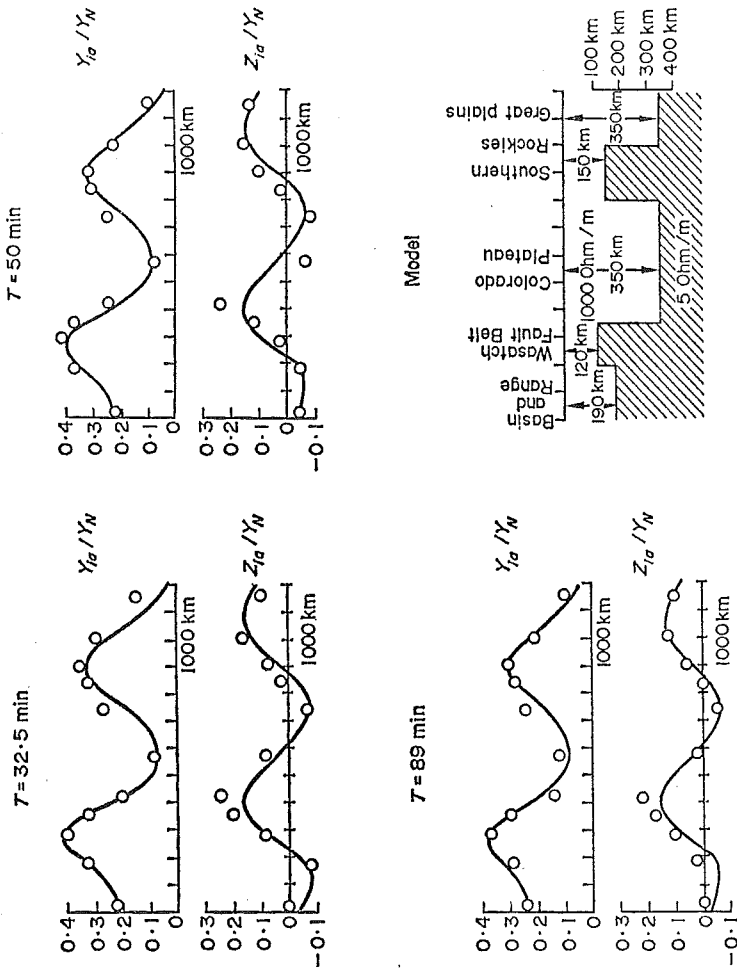
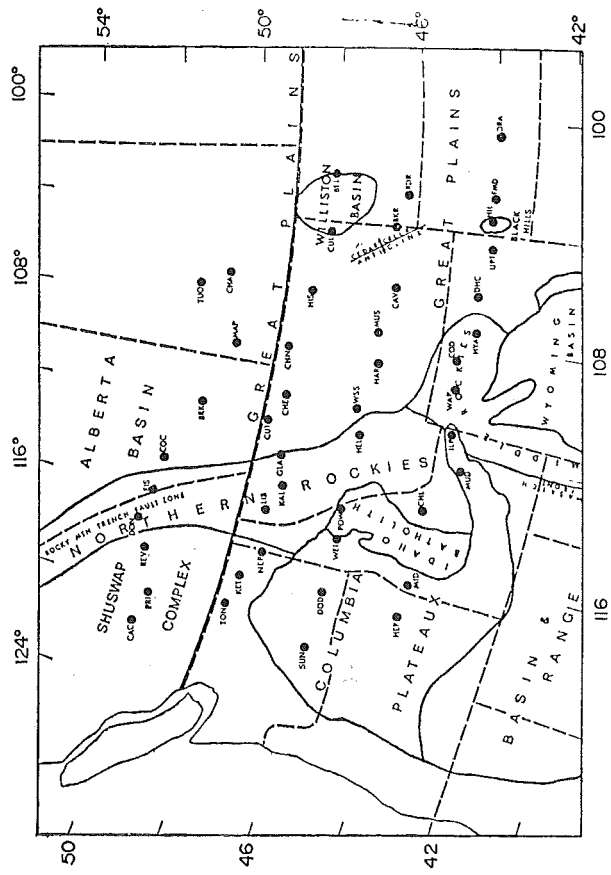
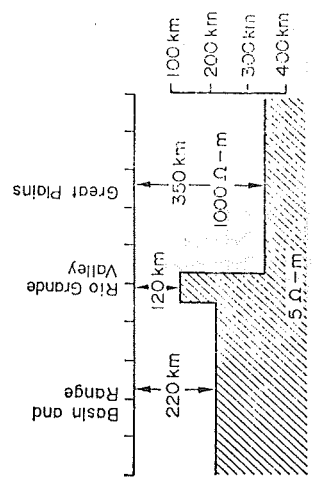
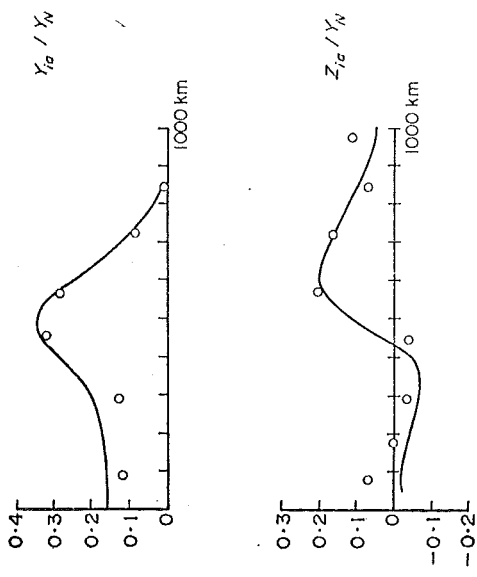


Fig. 1. Observed normalized anomalous fields and calculated fields for the conductive structure shown, along the profile of Fig. 1. Data points indicate variometer stations closest to profile.

$T = 60 \text{ min}$



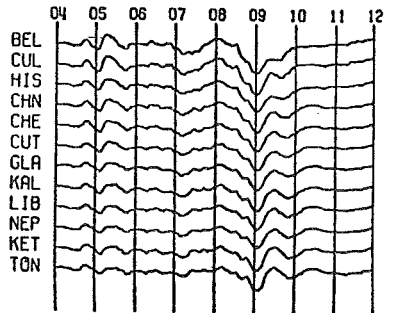
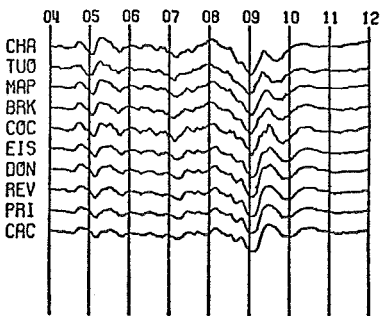
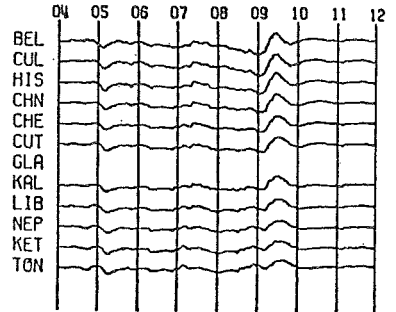
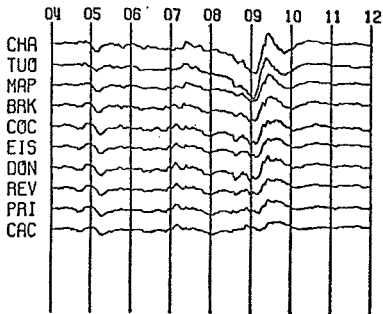
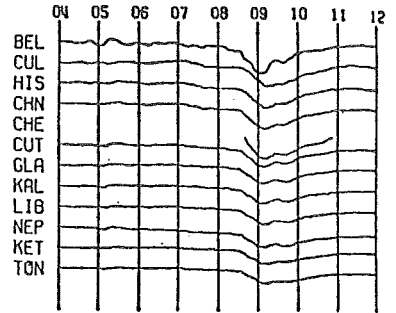
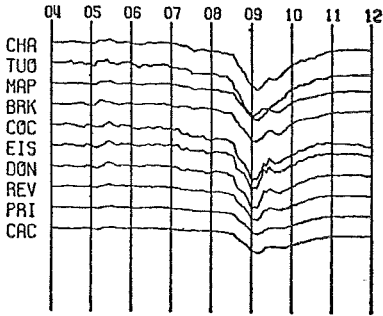
\* 5 □ Variometer array of 1969 on a simplified tectonic map of the northwestern United States and southwestern Canada.

\* 4 □ Observed and calculated anomalous fields across the Rio Grande Valley in southern New Mexico. Observed data after Schmucker (1970).

1969 August 10

Line 1

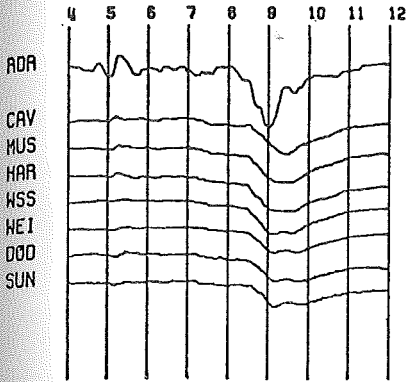
Line 2



\*6 图(a) Magnetograms for disturbance of 1969 August 10. Northern lines.

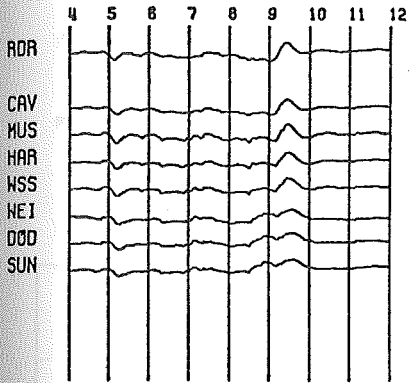
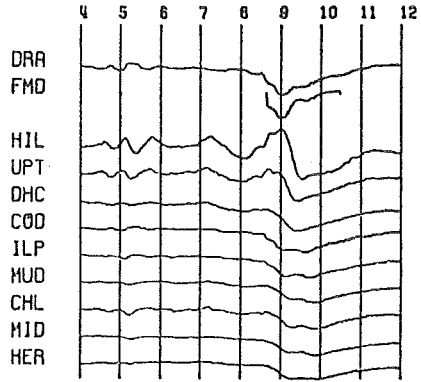
1969 August 10

Line 3

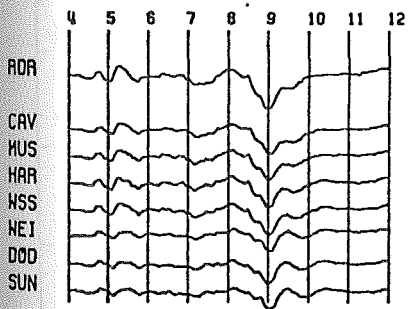
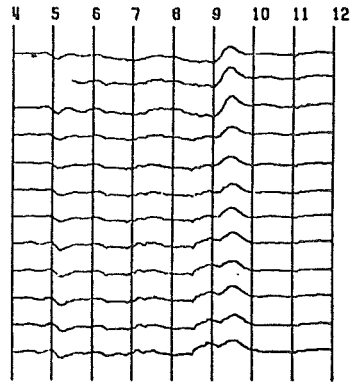


Z  $\uparrow$  50  $\gamma$

Line 4



H  $\uparrow$  100  $\gamma$



D  $\uparrow$  100  $\gamma$

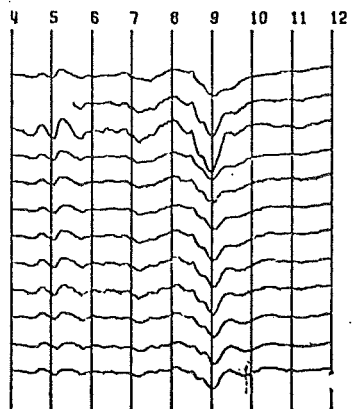
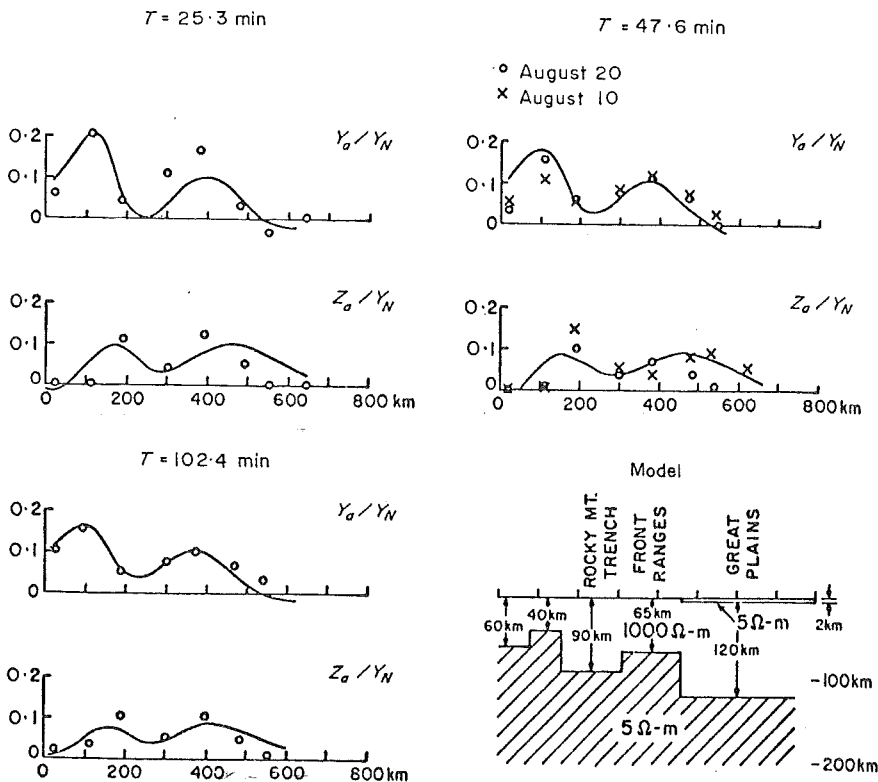
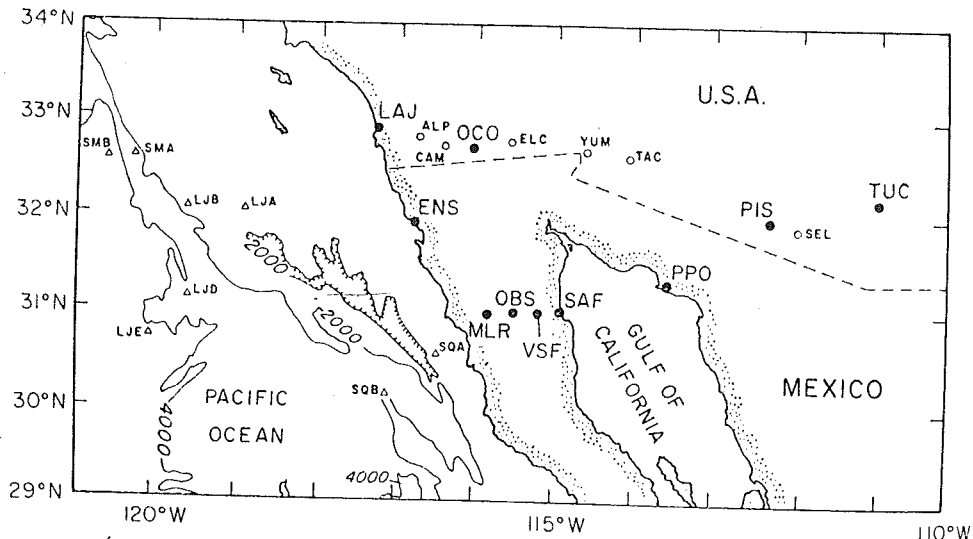


Figure 6 (b) Magnetograms for disturbance of 1969 August 10. Southern lines.

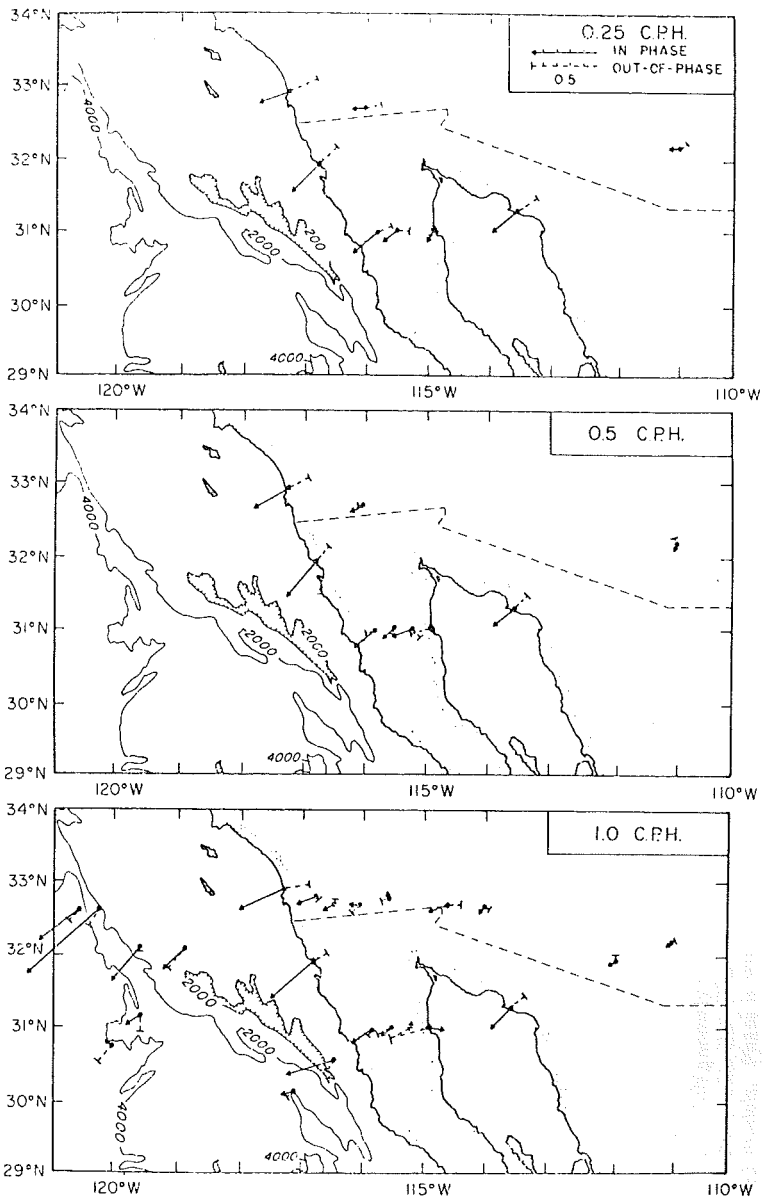




\*7 [ ] Observed normalized fields across the Northern Rockies and calculated fields for induction in a two-dimensional conductive structure.



\*8 [ ] Magnetometer station map. Full circles are stations occupied in this experiment, open circles are Schmucker's (1970) stations and triangles are sea-floor stations described by Greenhouse (1972). Bathymetry is shown in metres.



\*9 圖 (a) Induction arrows for 0.25 (top), 0.5 (middle) and 1.0 (bottom)  $\text{c hr}^{-1}$ . At  $1 \text{ c hr}^{-1}$ , arrows at Schmucker's (1970) stations and the sea floor stations (Greenhouse 1972) are also shown. Stations may be identified from Fig. 1.

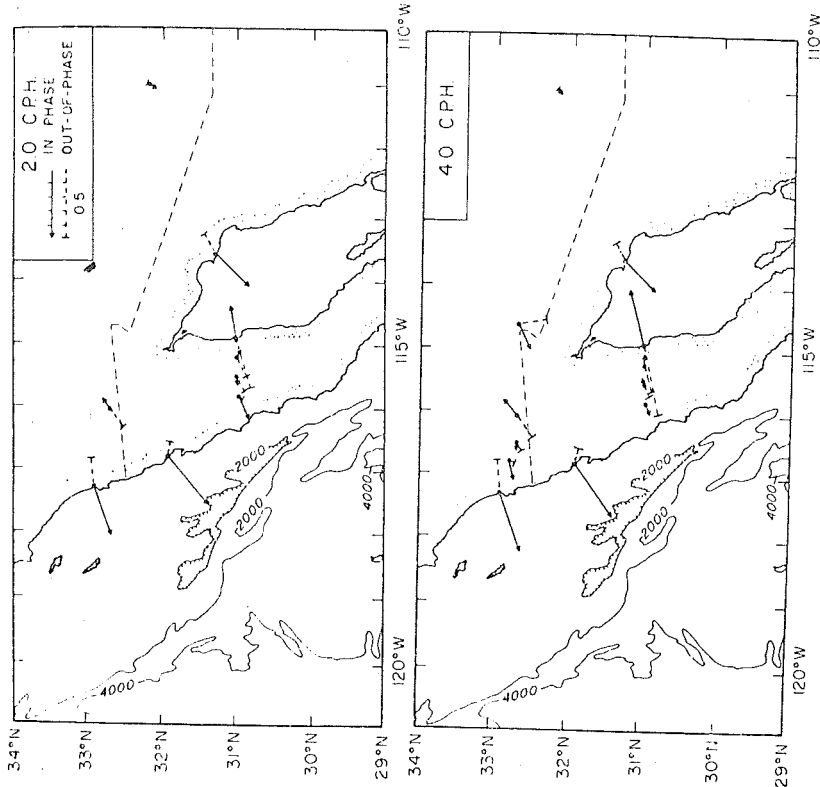
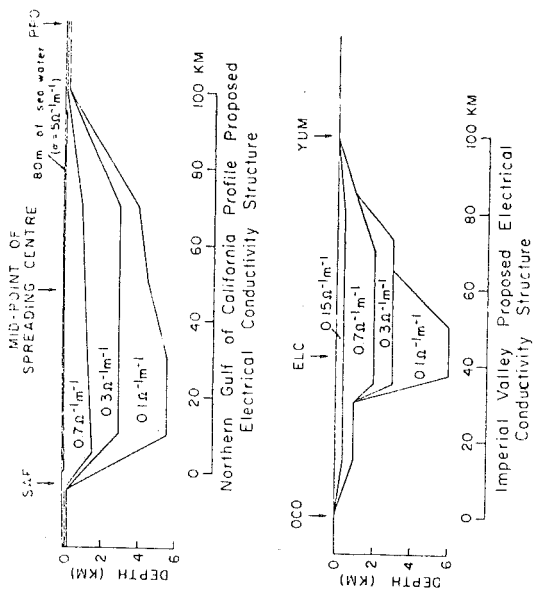


Figure 9 (b) Induction arrows for 2.0 (top), and 4.0 (bottom)  $c hr^{-1}$ . Notice the rotation of the arrows at SAF, VSF, OBS and OCO and their increase in length as the frequency increases from 0.25 to 4.0  $c hr^{-1}$ .

Figure 10 Proposed electrical conductivity structures for the northern Gulf and Imperial Valley (top and middle) along profiles BB' and AA' (bottom) respectively. Structure of conductivity values is based on seismic profiles of Kovach *et al.* (1962), Biehler *et al.* (1964) and Phillips (1964) and the resistivity measurements of Meidav & Furgerson (1972).

CYCLE PER HOUR

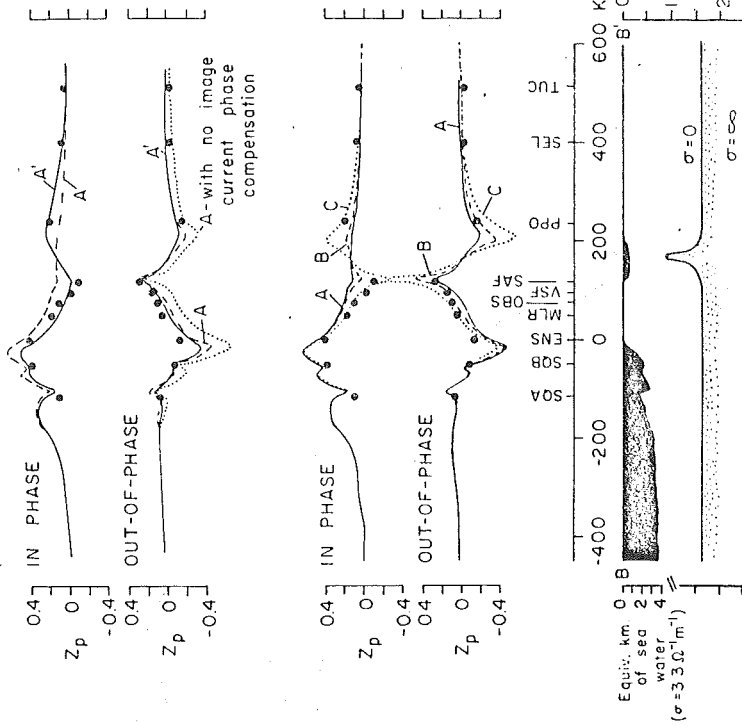


Figure 11 Models for the northern Gulf anomaly at 1 cycle per hour.  $Z_p$  is the length of the induction arrows projected onto profile BB (Fig. 11). Full circles are observed values, curves are computed models. Phase is with respect to B, the horizontal magnetic field component along the profile. All models use a surface thin sheet of variable conductivity, the value of which is expressed in the figure in equivalent km of sea water (vertical exaggeration 20:1). Models A, B, C use a flat supermantle at 160 km, model A' uses supermantle topography as shown (no vertical exaggeration).

0.5 CYCLES PER HOUR

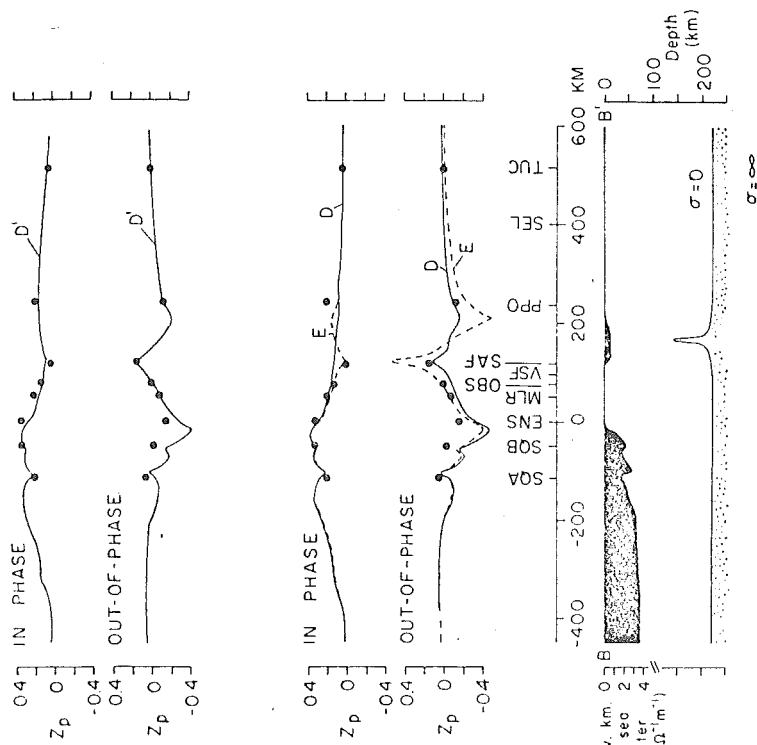
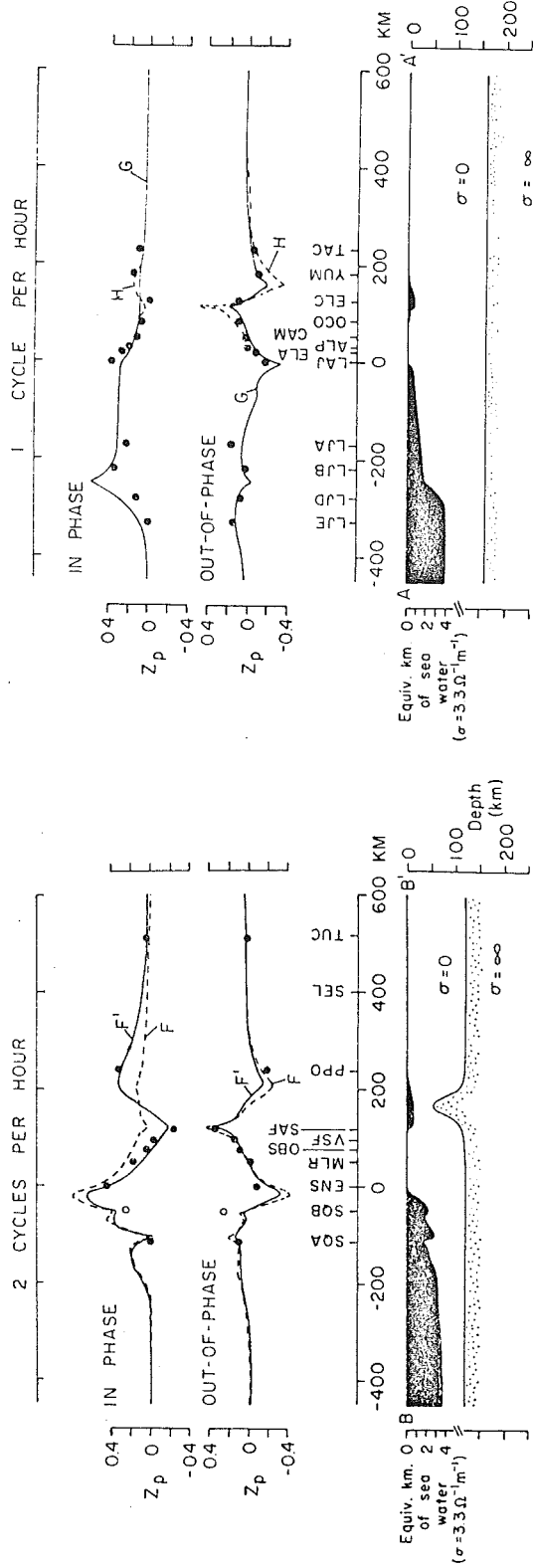
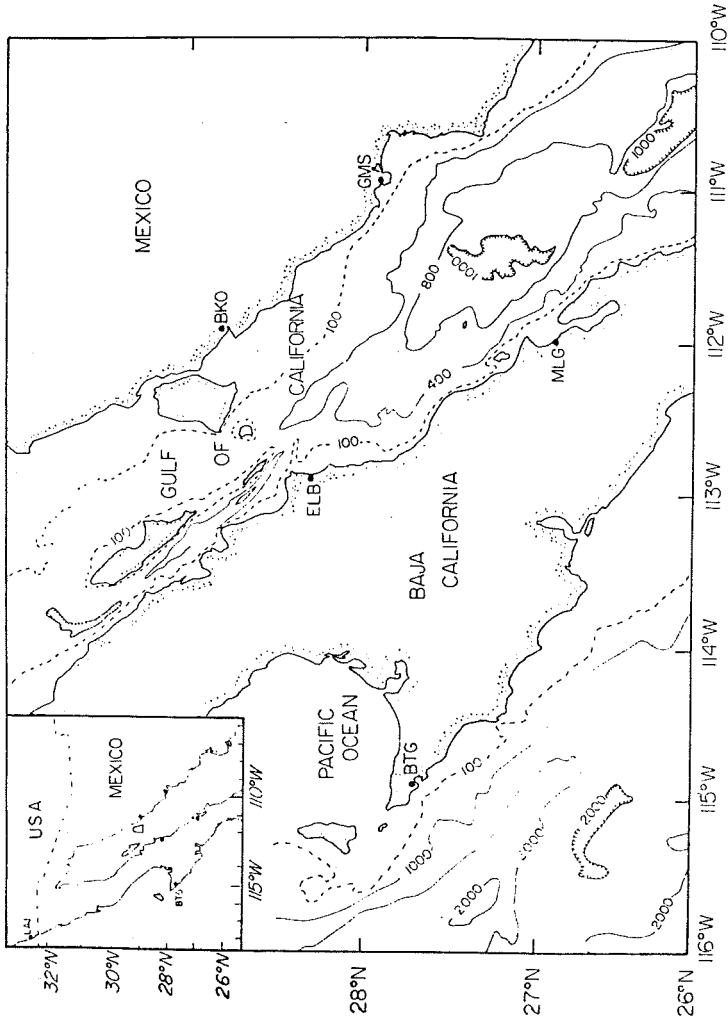


Figure 12 Models for the northern Gulf anomaly at 0.5 cycles per hour. Models D and E use a flat supermantle at 200 km. Model D' uses supermantle topography as shown.

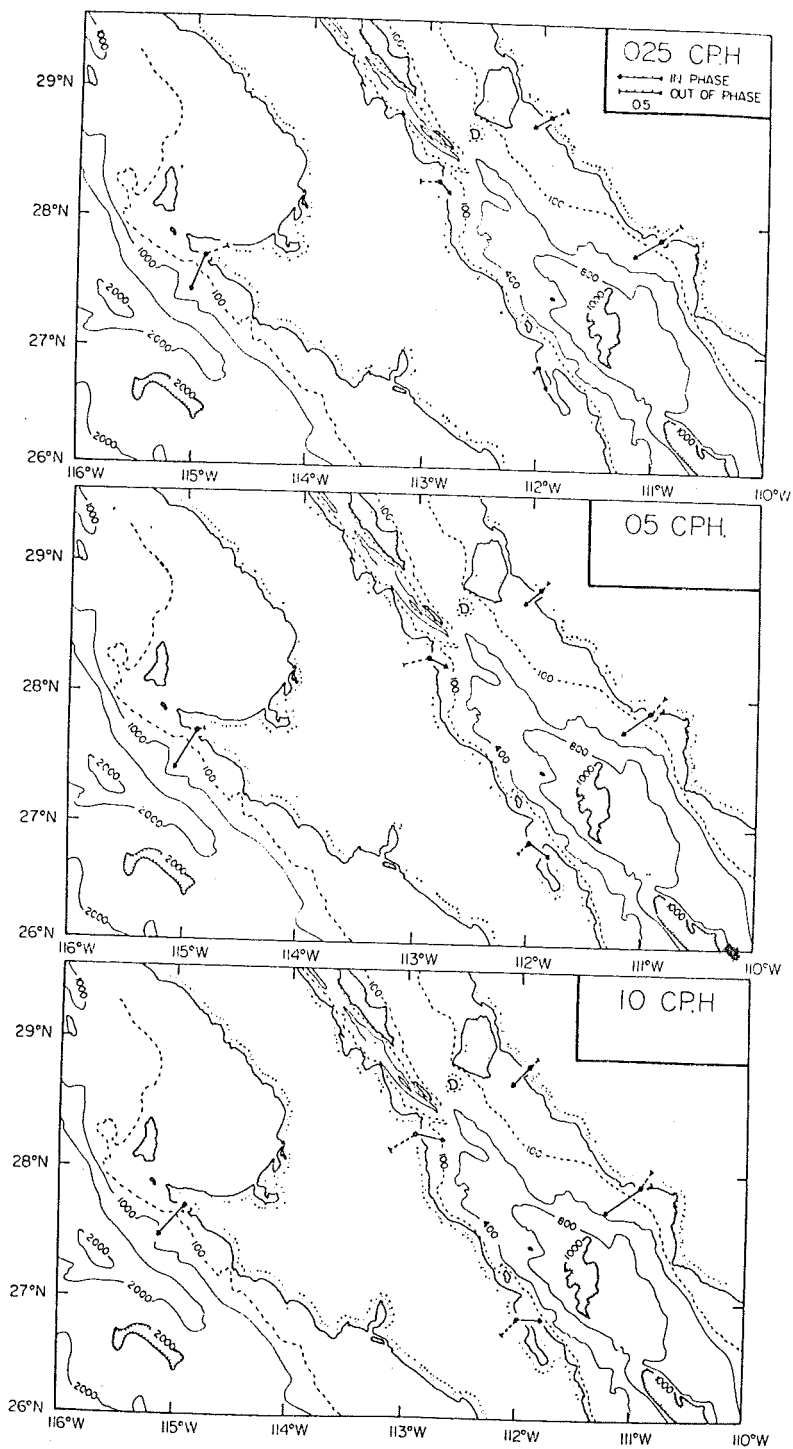


13 Models for the northern Gulf anomaly at 2 cycles per hour. Model F uses a flat supermantle at 120 km, model F' uses supermantle topography as shown. Observed values at SQB are unreliable.

14 Models for the Imperial Valley anomaly at 1 cycle per hour. Surface thin sheet of supermantle at 160 km.



\* 15 □ Location map. Full circles indicate position of magnetometer stations. Abbreviated station names may be identified in Table 1. Inset map indicates the relative position of the base station at La Jolla (L.A.J.). Bathymetry in fathoms (1 fm = 1.85 m).



\*16 图 (a) Induction arrows for  $0.25$  (top),  $0.5$  (middle) and  $1.0 \text{ c hr}^{-1}$  (bottom). The direction of the in-phase arrows has been reversed following Schmucker (1970). The rotation of the in-phase arrows at ELB and MLG is easily seen; also the diminution and abrupt reversal of the out-of-phase arrow at BTG.

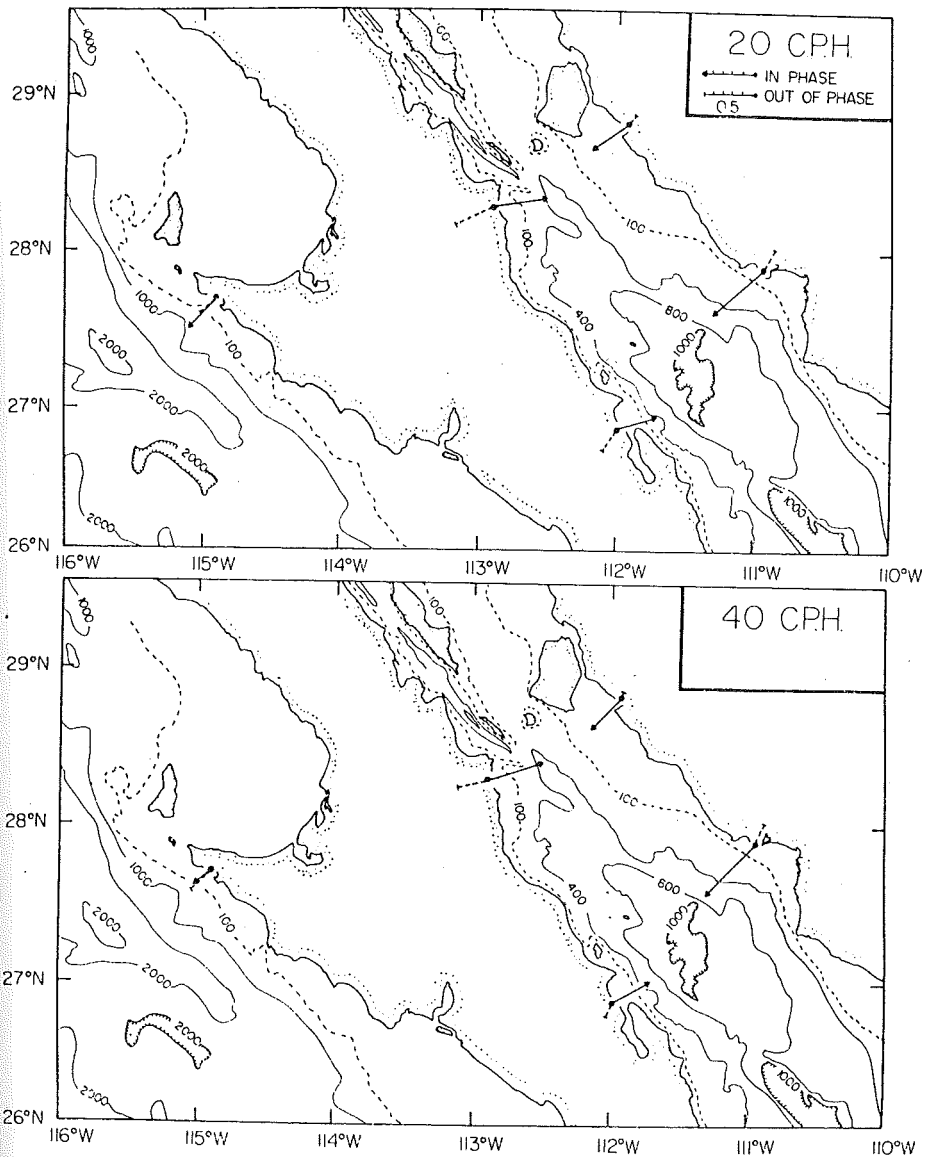
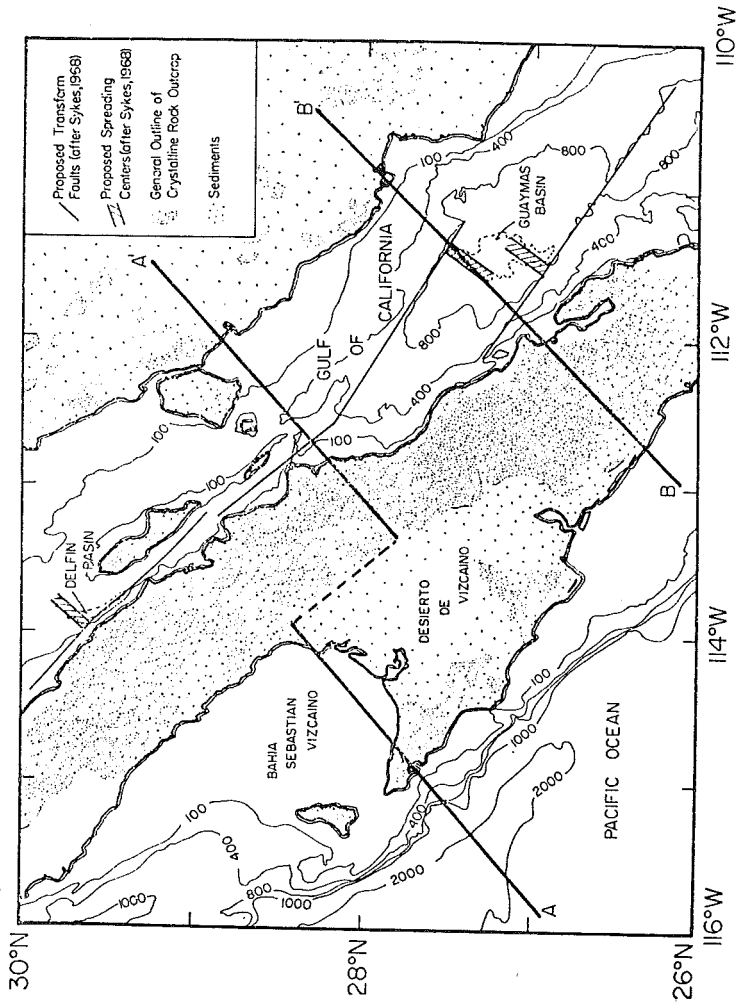
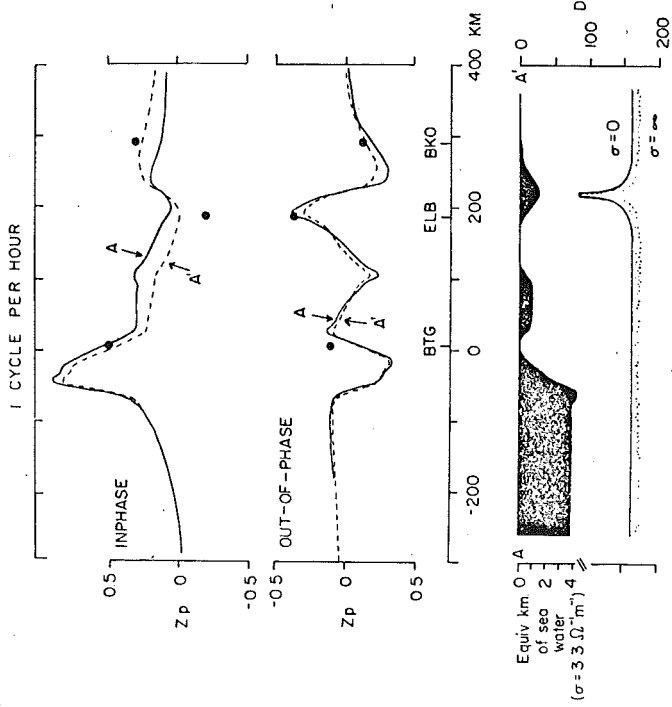


Figure 16 (b) Induction arrows for 2.0 (top) and 4.0  $\text{c hr}^{-1}$  (bottom). Notice the steady diminution in the in-phase arrow at BTG.

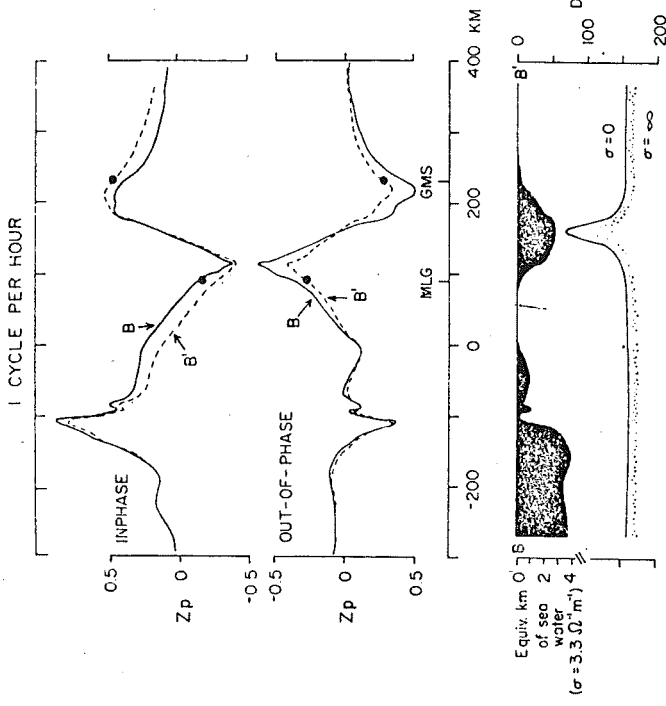




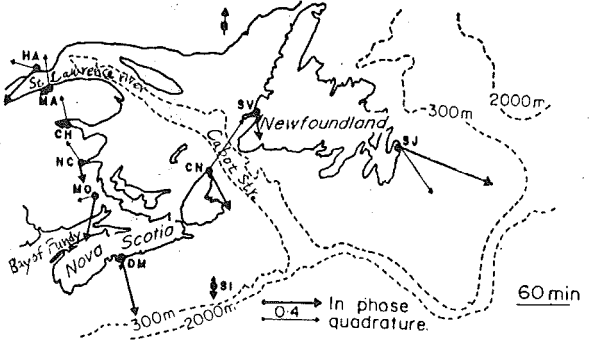
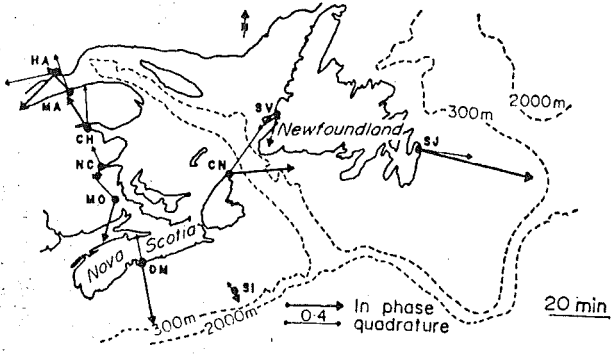
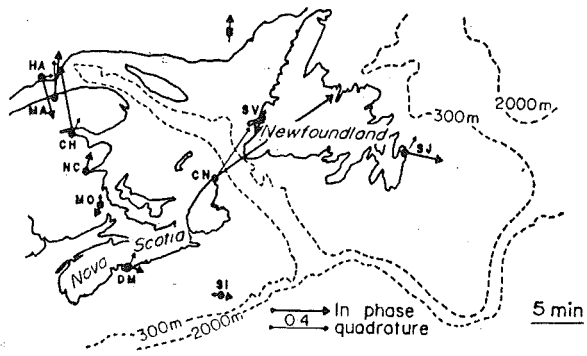
★ 17 Geologic and tectonic features of the central Gulf region. Faults and proposed spreading centres after Sykes (1968, Fig. 17). Generalized crystalline rock outline from the 1965 U.S. Geological Survey's geologic map of North America. Profiles AA' and BB' are those used in the models (see text).



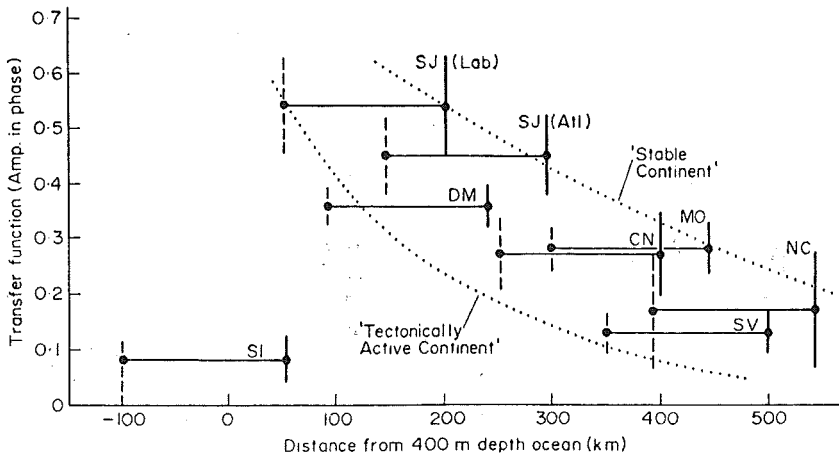
★ 18 □ Models for profile AA' at  $1 \text{ c hr}^{-1}$ .  $Z_p$  is the length of the induction arrows projected onto profile AA' (Fig. 9). Full circles are observed values, curves are computed models. Both models use a surface 'thin sheet' of variable conductivity which is illustrated at the bottom of the figure in equivalent kilometres of sea water (vertical exaggeration 20:1). Model A is the basic model and uses a flat supermantle at 160 km depth. Model A' uses the supermantle as shown in the figure (no vertical exaggeration).



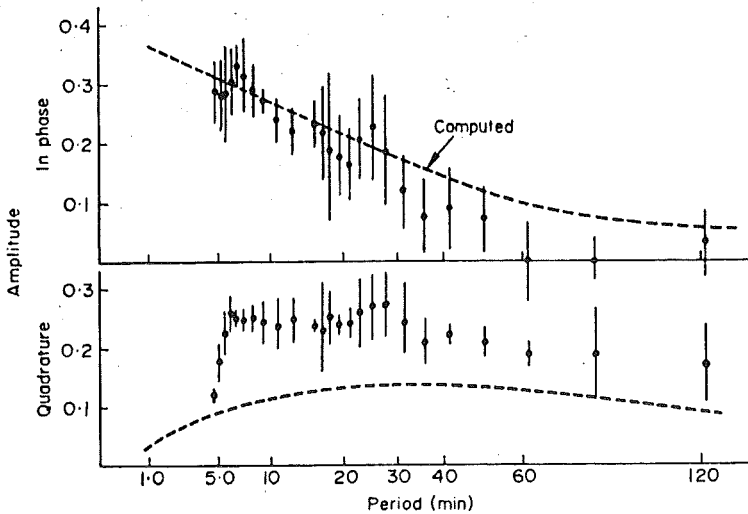
★ 19 □ Models for profile BB' at  $1 \text{ c hr}^{-1}$ . Surface conductor along profile BB' (Fig. 9) is shown in equivalent kilometres of sea water (vertical exaggeration 20:1). Model B is the basic model and uses flat supermantle at 160 km. Model B' uses supermantle as shown (no vertical exaggeration).



第20图 Induction vectors for magnetic variation periods of 60, 20 and 5 min.



\*21  Amplitudes of the in phase part of the  $Z$  transfer functions at 60-min period. The solid bars are for distance taken from the shelf edge. The broken bars are for distance taken from the edge of the postulated high conductivity continental shelf block.



\*22  The observed and computed transfer function with frequency at Matane on the lower St Lawrence River.

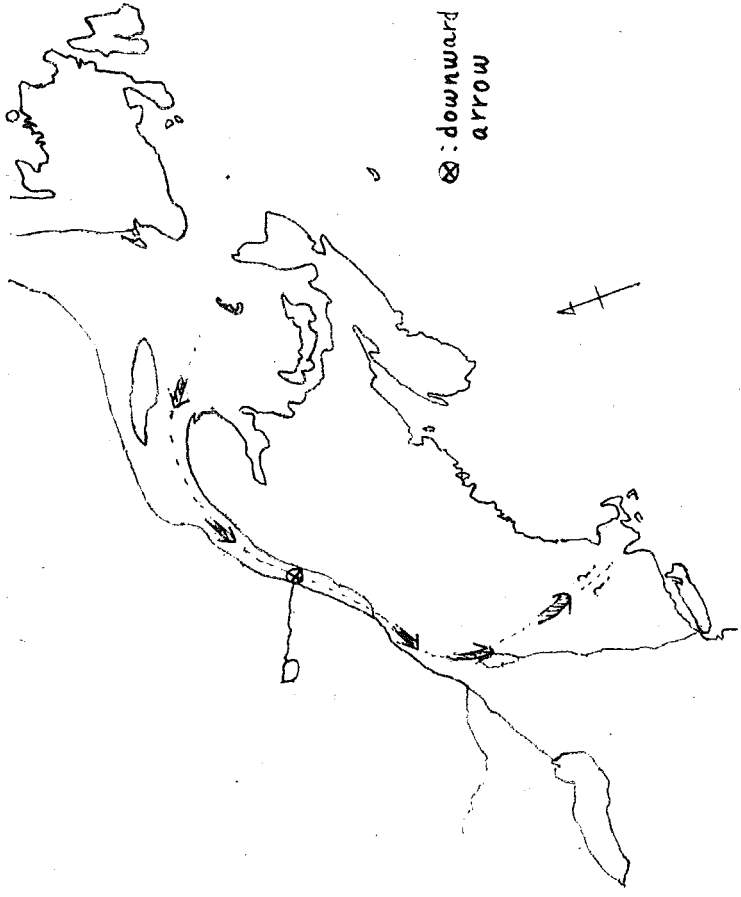
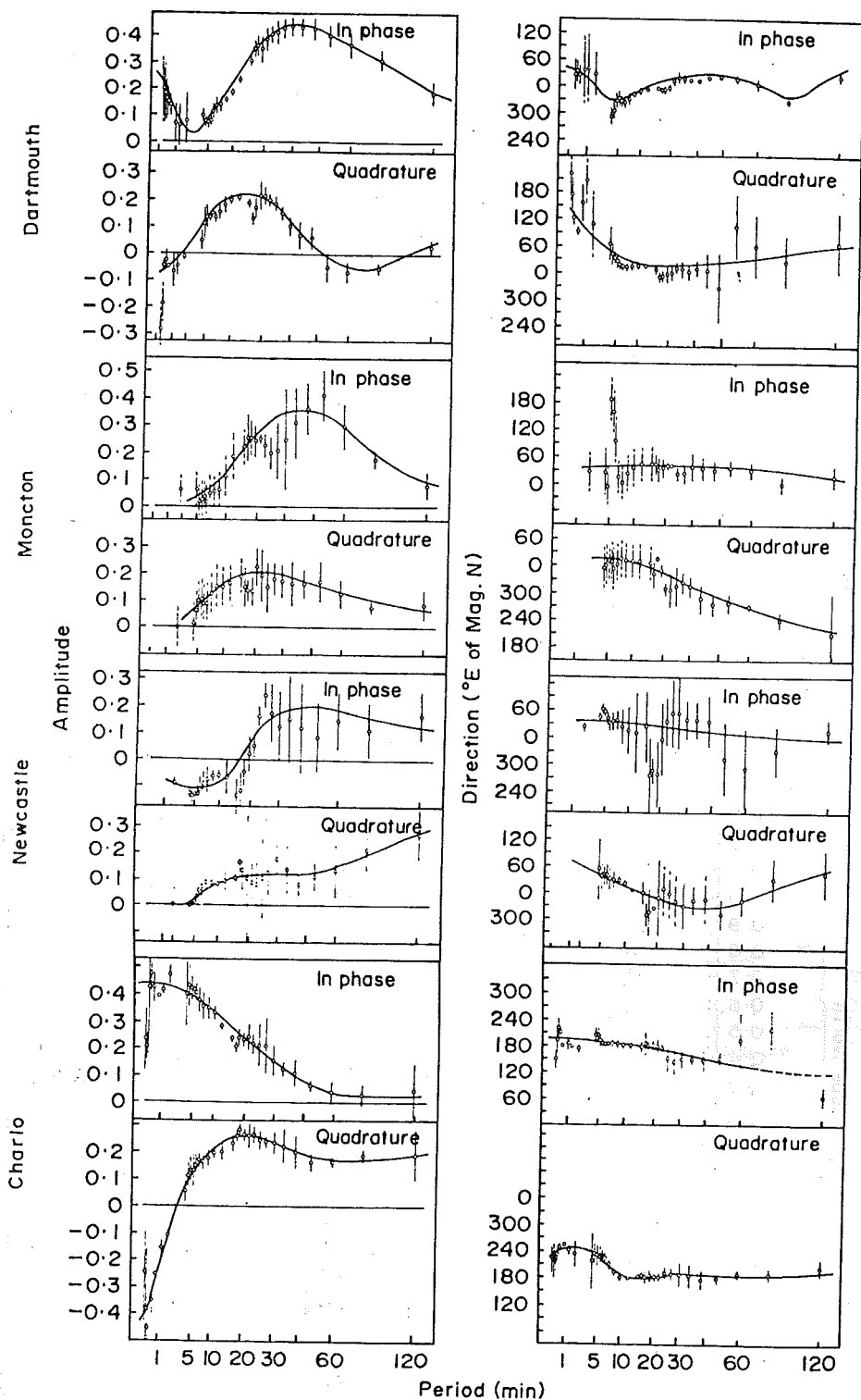
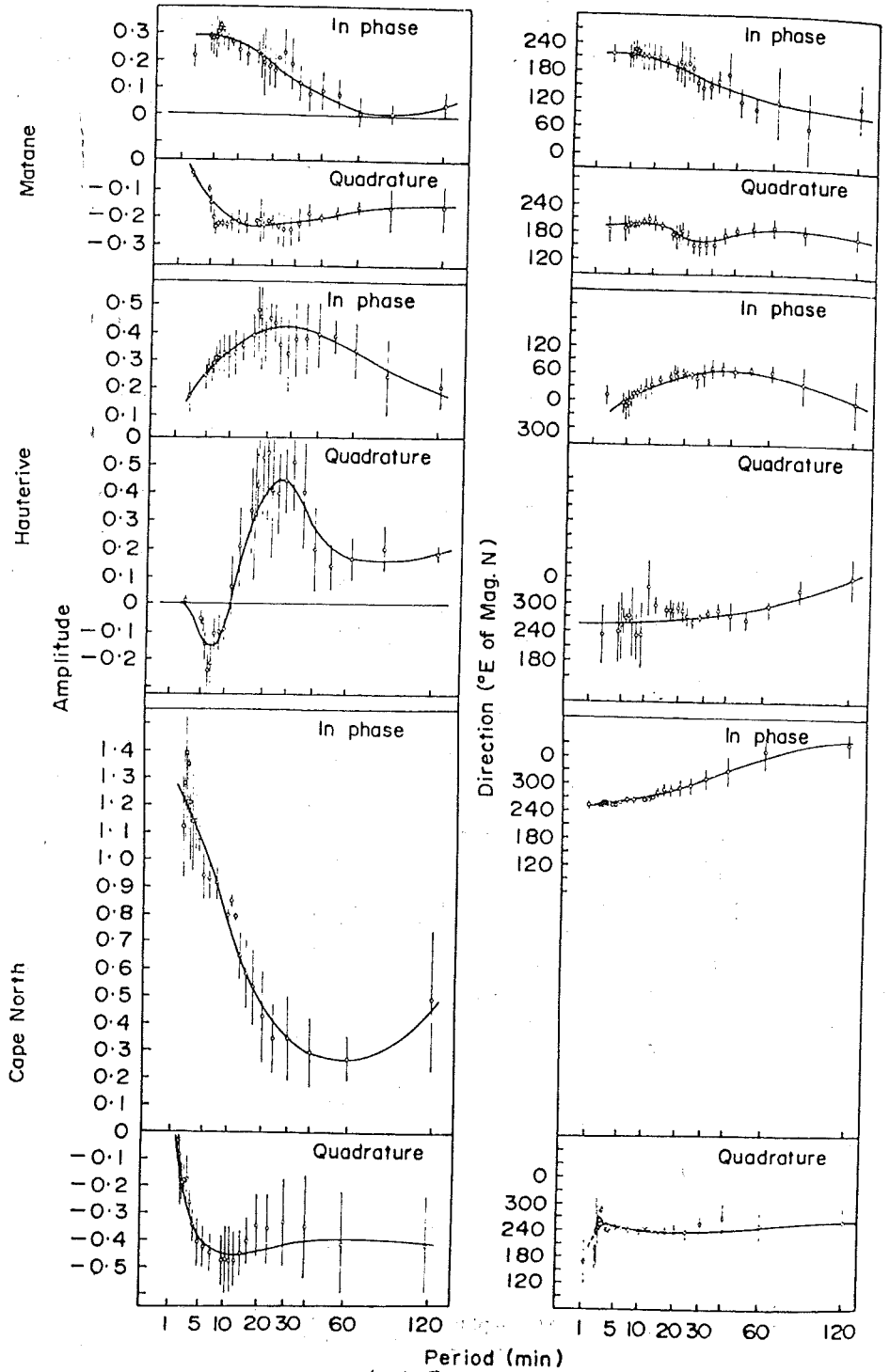


图 23



\*24 圖(a)

\*24 圖(a), (b) and (c). The amplitudes and directions with frequency of the single station Z transfer functions.

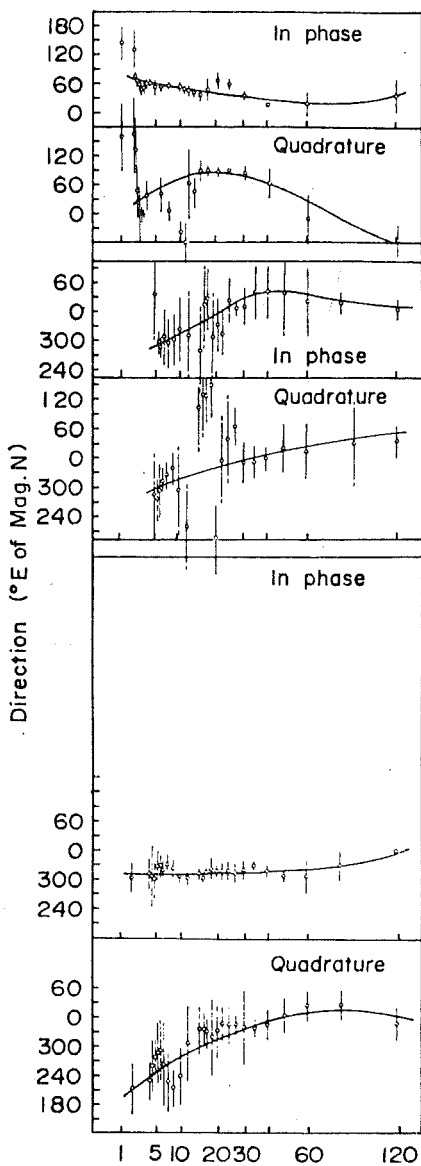
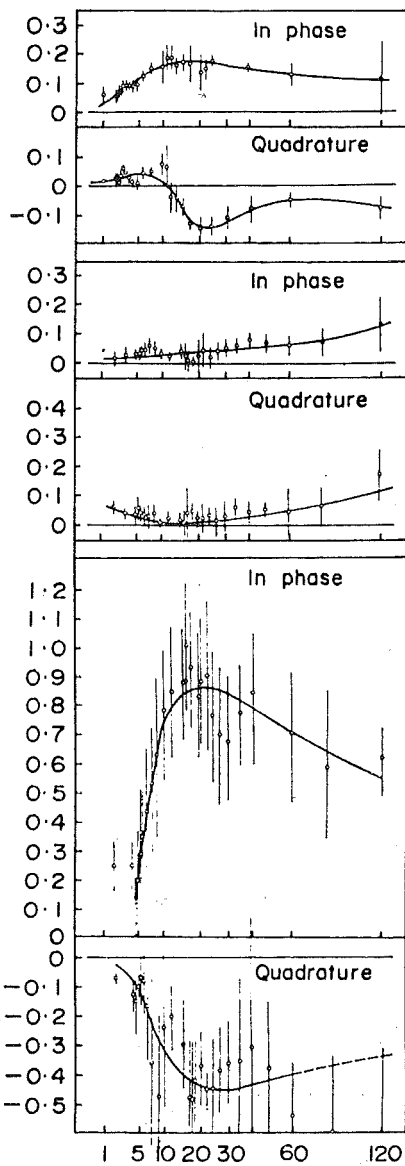


\*24圖(b)

Stevensville

Sable Is.

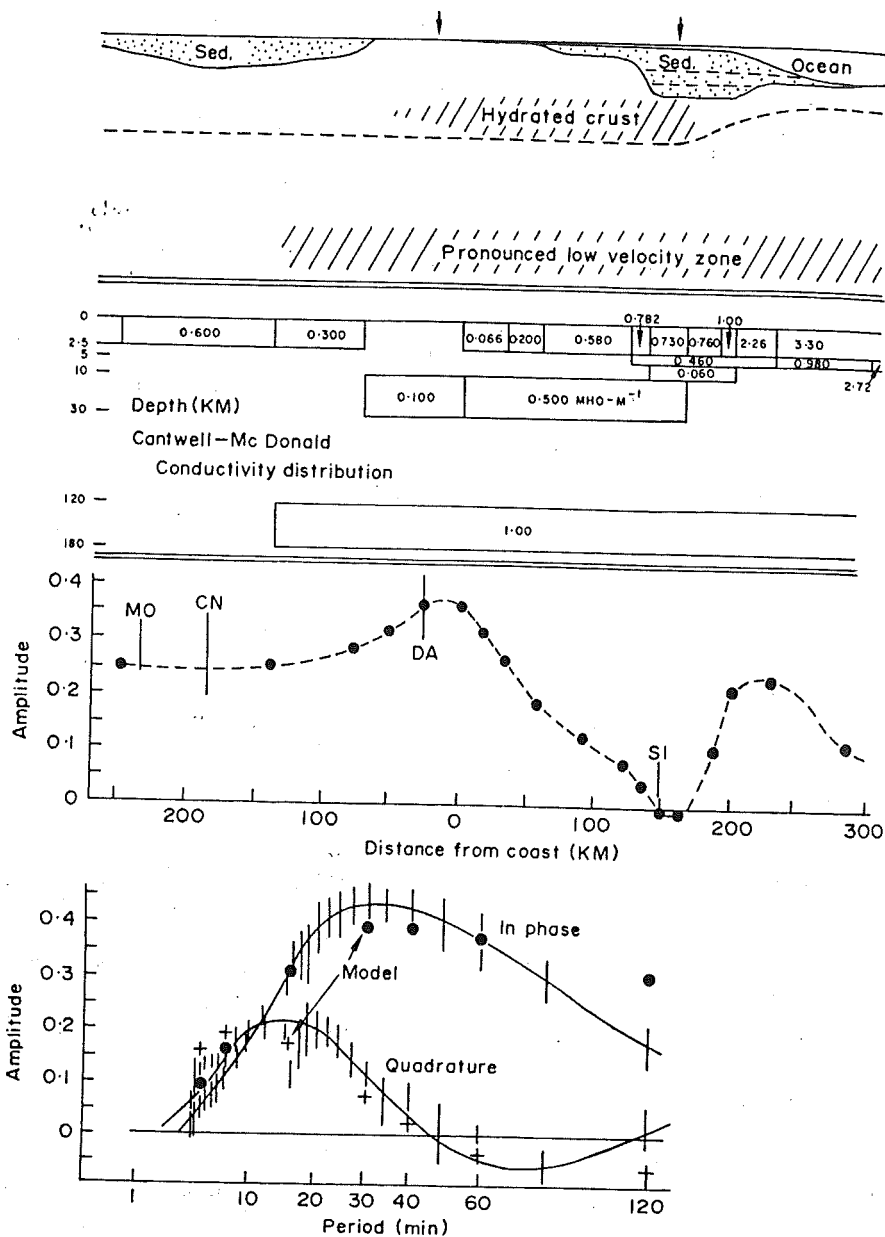
St John's



Period (min)

\*24 (c)





25图 (a). The computed and observed amplitude of the transfer functions at 60-min period across the continental margin. (b) The computed and observed frequency response at Dartmouth.