

オーストラリアのCA

鳥取大学教養部

宮腰潤一郎

I. はじめに

オーストラリアのCAに関する研究ということになると、先ず W. D. Parkinson と J. E. Everett, R. D. Hyndman をあげなくてはならないが、彼等の仕事についてはすでに1957年12月、柿岡でのCAシンポジウムおよび1969年3月、鳥取でのCAシンポジウムで森俊雄、笹井がそれぞれ詳細な報告を行っているので、今回は1970年以後に行われた F. E. M. Lilley, D. J. Bennett および H. Y. Tammemagi の仕事について述べることにする。

彼等がCA研究の対象として選んだ地域は、

- (1) 一般に Great Artesian Basin と呼ばれ主として、South Australia 州を形成しているオーストラリア大陸中央南部一帯と (2) New South Wales 州と Victoria 州の一部を含むオーストラリア大陸南東部一帯である。

これらの地帯はオーストラリア大陸の中でも Tectonic に Active な地域で、Seismicity も比較的活発であり、(1)の地域には extension force が、(2)の地域には compression force が働いていると考えられている。(Fig. 1, Fig. 2)

II. オーストラリアのCA各論

地磁気観測のみによる CA の研究 (いわゆる Deep-sounding 法) は主として F. E. M. Lilley と D. J. Bennet が Magnetotelluric 法による研究は Tammemagi と F. E. M. Lilley が共同して行っている。

1. オーストラリア中央南部 (South Australia) の CA

この地域には Adelaide geosyncline がほぼ南北に走り、これをはさんで西側には Precambrian shield が、東側には比較的新しい地層が分布している。地殻熱流量は西側が小さく、東側が大きく、地震波速度も東側が大いことが報告されている。

この地域において H. Y. Tammemagi と F. E. M. Lilley は、3点づつの移動観測により、計 9 点において Magnetotellurics 観測を行い、地下構造を論じている。電極間隔は 500m、記録は 10 sec 間隔の打点方式であり、地磁気観測には Gough & Reitzel 型のものを用いている。(Fig. 3)

ところで、インピーダンステンソル Z_{ij} は

$$\begin{cases} E_1 = Z_{11} H_1 + Z_{12} H_2 \\ E_2 = Z_{21} H_1 + Z_{22} H_2 \end{cases}$$

で定義されるが、二次元として取扱いうるときは

$$\begin{cases} Z_{11} = Z_{22} = 0 \\ Z_{12} \neq Z_{21} \end{cases}$$

となる。彼等はその一つの目安として次の様な factor

$$\text{skew} = |Z_{11} + Z_{22}| / |Z_{12} - Z_{21}|$$

を用いている。

そしてインピーダンステンソルは、例えば

$$Z_{xy} = \begin{vmatrix} H_x' & E_x' \\ H_x^2 & E_x^2 \end{vmatrix} / \begin{vmatrix} H_x' & H_y' \\ H_x^2 & H_y^2 \end{vmatrix}$$

として与えられ、これから見かけの比抵抗値

ρ_{ij} は

$$\rho_{ij} = 0.2 T |Z_{ij}|^2 \text{ として求められる。}$$

Fig. 4, Fig. 5 は彼等が得た結果例である。Fig. 5 から、異方性の存在すること、および WAK, MLY 両地点においては比抵抗値が特に小さいことを知ることがができる。彼等はこれから、東西方向の断面を Fig. 6 の様に推定している。また、Fig. 4 の様に各点のインピーダンステンソルの principal axis は、すべてほぼ南北方向となっているが、この様な異方性をつくり出す原因として彼等は、地電流の局所的な channelling を考えている。

2. オーストラリア南東部

(1) この地域については 1971 年やはり、F. E. M. Lilley と Tammemagi がほぼ南北方向に走る断層列が存在する Canberra 市附近の 3ヶ所で地電流観測を行い、地電流の polarisation の方向は、その附近の断層方向に対して直角になることを見出している。その原因としては、断層中に地下水を含むためにその部分が conductor となり、地電流の流線は conductor に対して直角となるためと考えている。

(2) また彼等は同じこの地域で Tasman Geocyncline を横切った測線について Magnetotellurics 法を用いて調べている。Tasman Geocyncline とは、オーストラリア大陸東部のいわゆるオーストラリアアルプスを作っているものであり、その東西方向の中は測点附近で約 250 km である。地震波の解析から地殻の厚さはこの附近で約 40 km で海岸側では 20 km ほどになっている。また熱流量は西側が高く、東側が低い。観測の結果得られた見かけ比抵抗値 ρ_a は Fig. 7 の通りで、これから Fig. 8 の様な構造を求めている。これによれば Geocyncline 上の Moruya, Spring Valley においては深さ 100 ~ 300 km の conductivity がその西側の Wagga Wagga, Griffith より 1 ケタ大きく、且この原因を温度の効果に求めるならば約 200°C の温度差を考えなくてはならぬことを指摘している。さらに今述べた地磁気三成分観測の際に見られた海の影響について D. J. Bennett と F. E. M. Lilley が 1971 年に論文を発表している。例の如く、 $Z = AH + BD$ で表わされるとし、 A, B の値を Auto-power, cross-power スペクトラムから計算し、それから response vector (パーキンソンベクトルと同じもの) の分布を求めている (Fig. 9) response vector の大きさを海岸線からの距離に対してプロットすると、Fig. 10 の様になり、これを Schmucker の step で説明するとその落ち込みは 200 km となる。これは北アメリカの場合の 170 km に近く、オーストラリア西海岸において Everett & Hyndman が得た 120 km より大きい。

(3) さらに F. E. M. Lilley と D. J. Bennett は、New South Wales 州の南部と Victoria 州の南東部一帯、東西約 1000 km 南北約 500 km の地域に 25 台の Gough-Reitgel 型磁力計を並べ、Toolangi 観測所の記録をあわせ用いて Array 観測を行っている。目的は、この地域の東側の Tasman 海、南側の Bass 海峡の影響をしらべるためである。(Fig. 11) なおまたこの地域には東に前述の Tasman Geocyncline が、西には Victoria 州の火山地帯があって共に地殻熱流量が大きくなっていることにも注目している。Fig. 12 は得られたスペクトラムの振幅と位相の地域分布を示した例である。そして彼等は、今回の様に隣接した多数の観測点でこの様なスペクトルの分布が得られたことを利用して "response surface" なるものの形を求めている。すなわち、 $\Delta Z = AX + BY$ の関係において A, B は一般に real part と imaginary part に分れるのでこれを

$$\begin{cases} Z_r = A_r X_r + B_r Y_r - A_i X_i - B_i Y_i \\ Z_i = A_r X_i + B_r Y_i + A_i X_r + B_i Y_r \end{cases}$$

と書き表わすと、これは Parkinson の式

$$\Delta Z = A_p \Delta X + B_p \Delta Y$$

に相当するものであり、各成分間の phase lag が小さい場合は

$$A_p \approx A_r$$

$$B_p \approx B_r$$

と見なすことができる。

そこで問題は、

$$A_r = \frac{\partial f_r}{\partial u} \quad A_i = \frac{\partial f_i}{\partial u}$$

$$B_r = \frac{\partial f_r}{\partial v} \quad B_i = \frac{\partial f_i}{\partial v}$$

として各観測で与えられる面

$$W_r = f_r(u, v) \quad W_i = f_i(u, v)$$

を決定することである。各観測点における A_r, A_i, B_r, B_i の値は Table 1 に示してある。

もちろん、これから response surface を unique に定めることはできないが surface を代数式の形で表わしてその係数を求めるという方法で得られた response surface が Fig. 12 に示されている。彼等はこのような response surface を A_i, B_i について、また各周波数成分について求めることにより、地下構造に関する情報を得られると述べている。

また Fig. 12 に見られる Σ の phase の大きな変化については、互いに phase が $\frac{\pi}{4}$ だけ違う X, Y 成分によって、それぞれ直交している南側と東側の海の影響が誘導されたものと解釈している。そしてまた、Fig. 13 にはこの地域の西に存在する Victoria 地熱地帯の影響が表れていると見ている。全体的に見て coast effect は深い東側の海 (Great Australian Bight) に関して顕著であり、南側の浅い海 (Bass strait) に関しては弱い。

参 考 文 献

- H.Y.Tammemagi and F.E.M.Lilley (1973);
A magnetotelluric traverse in Southern
Australia, Geophys.J.R.astr.Soc., 31, 433-445.
- F.E.M.Lilley and H.Y.Tammemagi (1971);
Telluric potentials recorded simultaneously
at three sites near Cambera, A.C.T. (Australia)
, Geoexploration, Elsevier.
- H.Y.Tammemagi and F.E.M.Lilley (1971);
Magnetotelluric studies across the Tasman
geocyncline, Australia,
Geophys.J.R.astr.Soc., 22, 505-516.
- D.J.Bennett and F.E.M.Lilley (1971);
The effect of the south-east coast of Australia
on transient magnetic variations,
Earth and Planetary Science Letters,
12, 392-398.
- D.J.Bennett and F.E.M.Lilley (1972);
Horizontal Polarization in array studies of
anomalous geomagnetic variations,
Nature Physical Science, 237, 70, 8-9.
- F.E.M.Lilley and D.J.Bennett (1972);
An array experiment with magnetic variometers
near the coasts of south-east Australia,
Geophys.J.R.astr.Soc., 29, 49-64.

Cleary, J.R. & Simpson, D.W. (1971);
Seismotectonics of the Australian continent,
Nature, 230, 239-241.

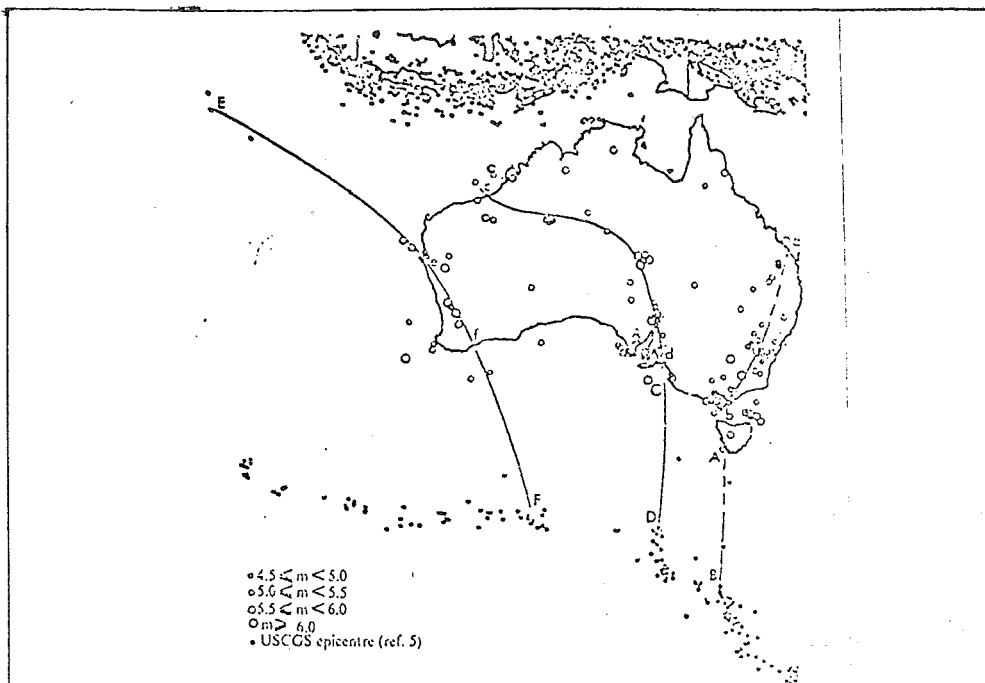


Fig. 1 Australian seismicity in relation to that of the Antarctic ridge and the Indonesian-New Guinea arc. The lettering is explained in the text.

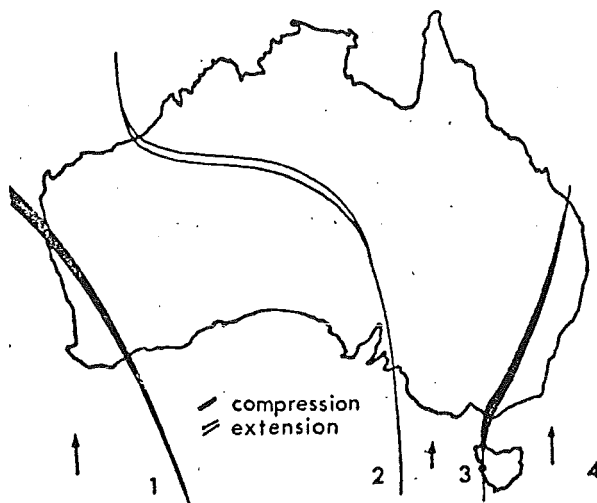


Fig. 2. Division of Australia into four sub-plates. Differences in spreading rate are represented schematically by the lengths of the arrows.

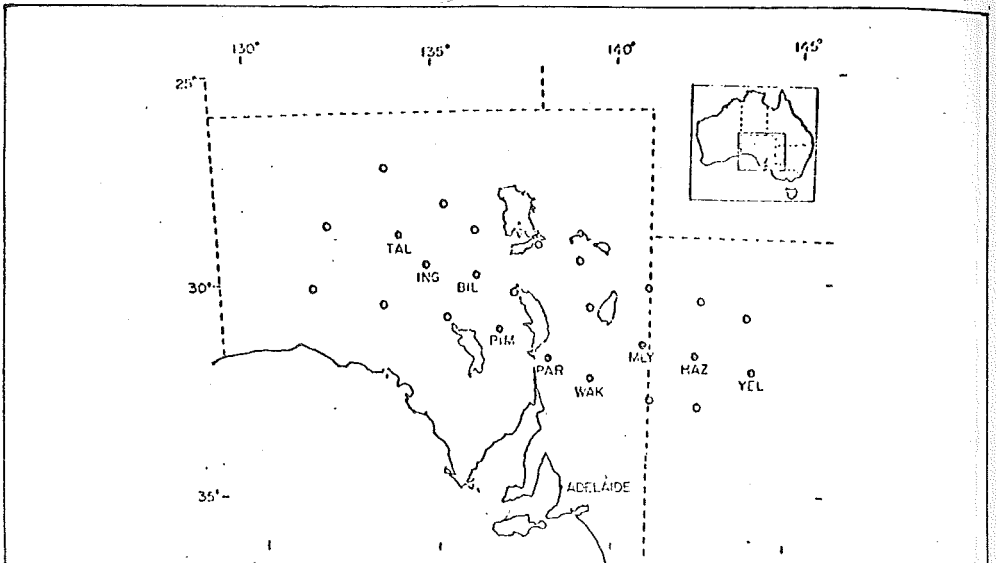


Fig. 3 The geographic location of the M-T traverse in southern Australia. Both telluric and magnetic data were obtained at the sites marked by solid circles, magnetic data only at open circles.

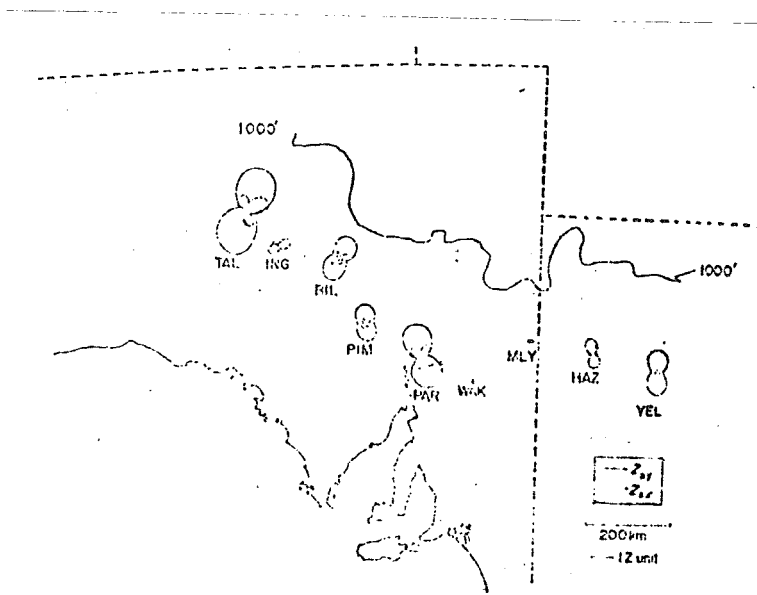


Fig. 4 Polar plots of the impedance tensors at a period 2270s, with the 1000 ft depth contour of the Great Artesian Basin.

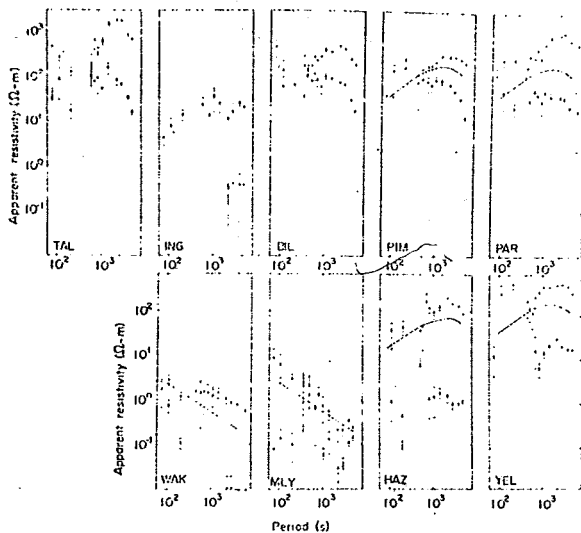


Fig. 5 Apparent resistivities calculated from impedance tensors which have been rotated into principal axes. The superimposed solid curves represent the theoretical ρ_{xy} curve for the model of 'best fit'. Solid squares represent ρ_{yx} , open triangles ρ_{xy} .

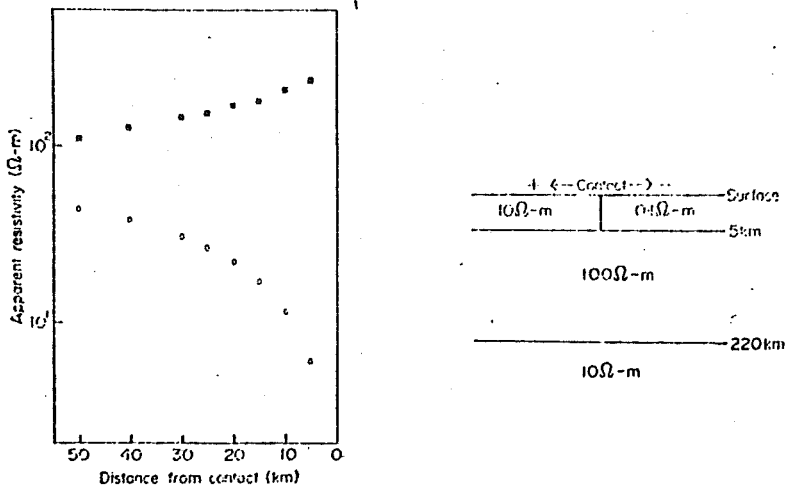


Fig. 6 Anisotropy as a function of distance, as modelled for the contact with the sediments of the Great Artesian Basin. The graph is drawn at a period of 2000 s for the positive side of the contact.

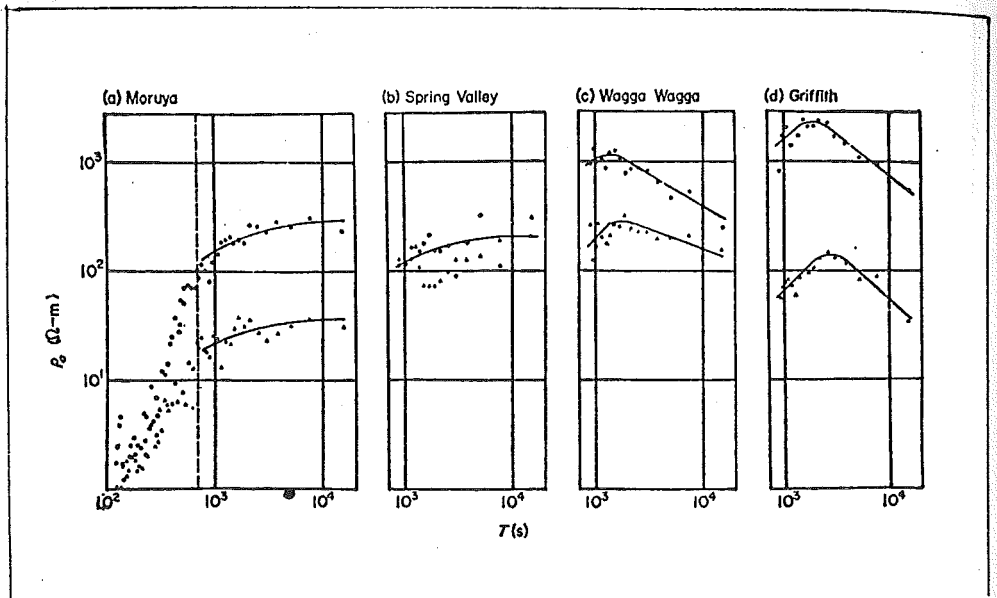


Fig. 7 Apparent resistivity data for four sites. ● H-B data; ▲ D-A data. Solid lines indicate typical acceptable master curves.

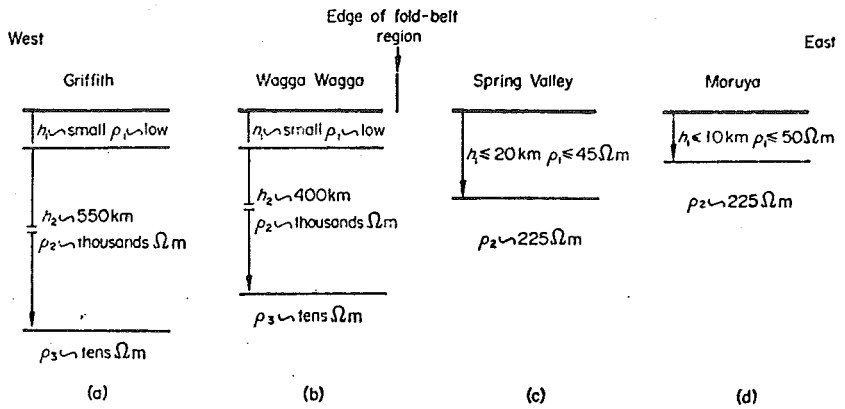


Fig. 8 The conductivity structure models interpreted from the apparent resistivity data.

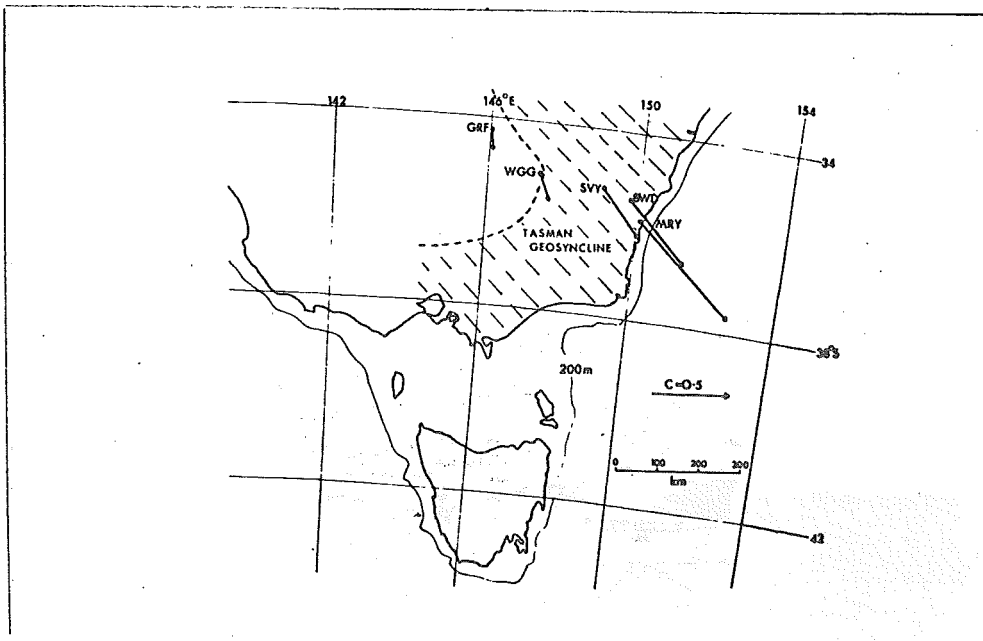


Fig. 9 Map of the observing sites and the response vector for one hour obtained at each one. The codes are MRY:Moruya, BWD:Braidwood, SVY:Spring Valley, WGG:Wagga Wagga, and GRF:Griffith.

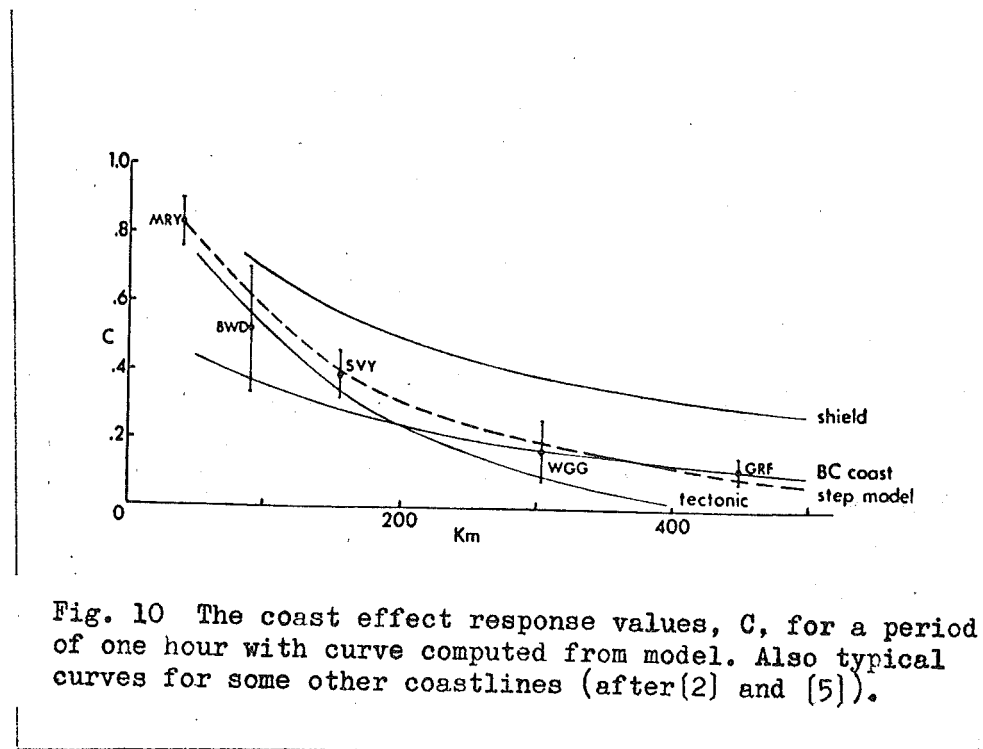


Fig. 10 The coast effect response values, C, for a period of one hour with curve computed from model. Also typical curves for some other coastlines (after (2) and (5)).

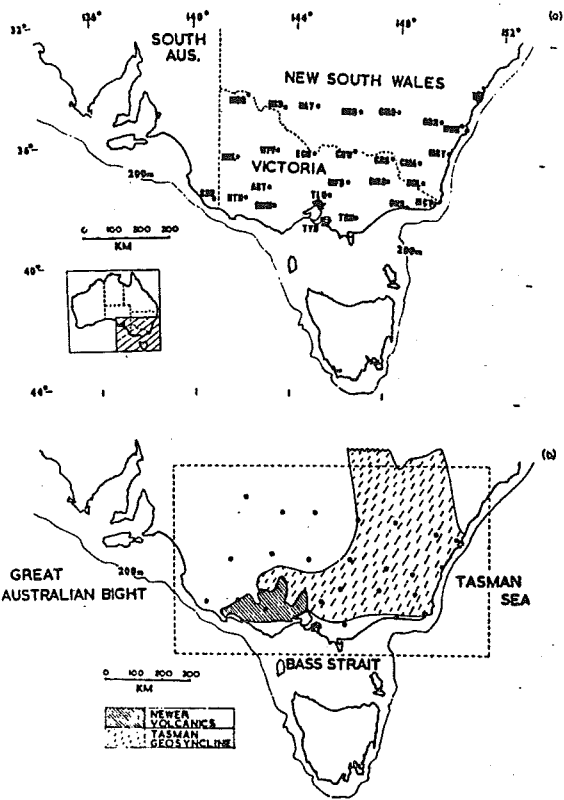


Fig. 11 (a) Map of the observing sites; (b) Major tectonic features in the array area. The rectangle drawn around the observing sites is the frame for all subsequent array diagrams.

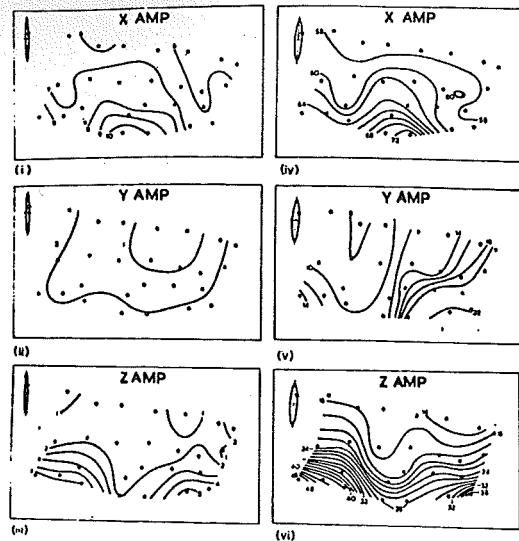


Fig. 12 (i)-(iii) Fourier transform parameter maps for 1971 March 19, 1500-1800hr, at period 33.6min. Units of amplitude are 21 gamma/cycle/min. (iv)-(vi) Fourier transform parameter maps for 1971 April 11, 1500-1800hr, at period 186.2min. Units of amplitude are 30 gamma/cycle/min. The ellipses shown are those of horizontal polarization.

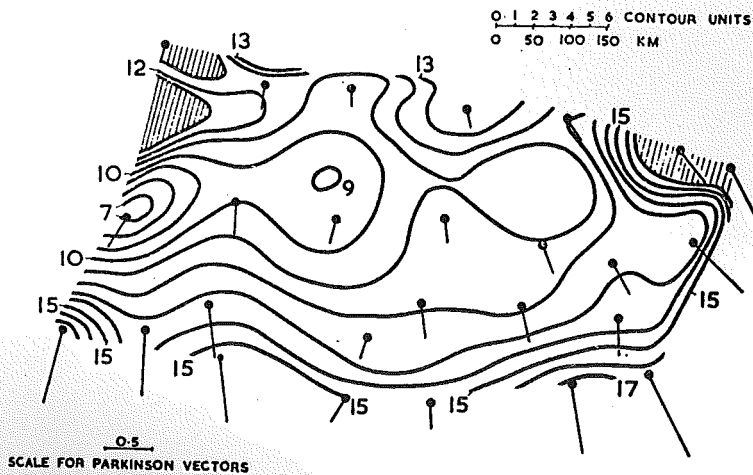


Fig. 13 Parkinson vectors for period 80 min, and the response surface fitted to them. The contour values are heights of the surface relative to an arbitrary zero level (and correspond to negative values of w as defined in the text).

Table 1

Station	Code	Geographic co-ords		Ar	Ai	Br	Bi
Ararat	ART	37° 19' S	143° 00' E	0.55	0.14	-0.12	0.09
Bombala	BBL	36° 55'	149° 11'	0.41	0.23	-0.05	-0.14
Benambra	BMB	36° 58'	147° 42'	0.37	0	-0.13	-0.06
Balranald	BRD	34° 36'	143° 34'	0.24	0.06	0	-0.02
Cooma	CMA	36° 18'	148° 58'	0.30	0.07	-0.23	-0.05
Cootamundra	CMD	34° 37'	148° 02'	0.21	0.06	-0.17	-0.04
Corryong	CRG	36° 11'	147° 53'	0.29	0.05	-0.15	-0.02
Corowa	CRW	35° 59'	146° 22'	0.24	0.11	-0.06	-0.03
Derrinaltum	DNM	37° 54'	143° 11'	0.69	0.10	-0.13	-0.11
Echuca	ECH	36° 08'	144° 46'	0.25	0.10	0.04	-0.05
Goulburn	GBN	34° 49'	149° 44'	0.29	0.04	-0.32	-0.04
Mt Gambier	GBR	37° 44'	140° 46'	0.80	0.09	0.15	-0.03
Hay	HAY	34° 31'	144° 50'	0.19	0.02	-0.03	-0.06
Hamilton	HTN	37° 39'	142° 03'	0.70	0.09	0.01	0.01
Mallacoota	MCT	37° 36'	149° 43'	0.80	-0.12	-0.58	0.12
Mildura	MDR	34° 14'	142° 04'	0.20	0.11	0.04	-0.05
Mansfield	MFD	37° 02'	146° 08'	0.36	0.05	-0.08	-0.15
Meruya	MRY	35° 54'	150° 08'	0.46	0.03	-0.58	0.02
Nhill	NHL	36° 20'	141° 38'	0.33	0.11	0.16	-0.09
Narrandera	NRD	34° 42'	146° 31'	0.20	0.08	-0.07	-0.04
Nowra	NWR	34° 57'	150° 32'	0.54	0.04	-0.40	0.10
Orbost	ORB	37° 47'	148° 36'	0.71	-0.12	-0.22	-0.03
Traralgon	TGN	38° 12'	146° 28'	0.27	0.16	-0.04	-0.05
Toolangi	TLG	37° 33'	145° 28'	0.22	0.18	0.05	-0.01
Tyabb	TYB	38° 16'	145° 10'	0.26	0.14	0.12	-0.04
Wycheproof	WPF	36° 04'	143° 14'	0.35	0.08	-0.03	0.02