



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道南西部における地磁気短周期変化（その1）
Author(s)	山下, 濟; YAMASHITA, Hitoshi; 横山, 泉 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 34, 15-44
Issue Date	1975-11-29
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.34.15">https://doi.org/10.14943/gbhu.34.15</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14052">https://hdl.handle.net/2115/14052</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	34_p15-44.pdf



## 北海道南西部における地磁気短周期変化 (その 1)

山下 濟・横山 泉  
北海道大学理学部地球物理学教室  
(昭和50年6月30日受理)

### Geomagnetic Variations of Short Period in the Southwestern Part of Hokkaido (Part 1)

By Hitoshi YAMASHITA and Izumi YOKOYAMA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo  
(Received June 30, 1975)

Temporary observations of geomagnetic variations have been carried out at 15 stations in the south-western part of Hokkaido for 1~3 months at each station since August 1972 to investigate conductivity anomalies in this region. At six of the 15 stations geoelectric variations were registered simultaneously with geomagnetic ones. At every station,  $\Delta R(=\sqrt{(\Delta H)^2+(\Delta D)^2})$ ,  $\phi(=\tan^{-1}(\Delta D/\Delta H))$  and  $\gamma(=\Delta Z/\Delta R)$  of 80~190 geomagnetic variations of which durations range from 2 minutes to 2 hours are calculated, and coefficients  $A$  and  $B$  in equation  $\Delta Z=A \cdot \Delta H+B \cdot \Delta D$  are obtained by the method of least squares, and induction vectors having the lengths of Wiese vectors and the directions of Parkinson vectors are determined. Furthermore, at the six stations the predominant directions of geoelectric variations are obtained.

The results of discussions are summarized as follows:

#### (1) Effects of the Tsugaru Straits

Since the induction vectors at the stations along both sides of the Tsugaru Straits are large in magnitude and point toward the Straits respectively, electric currents causing such anomalous vectors must pass through the Straits. Considering the dimension of the Tsugaru Straits, these currents cannot be induced there. These currents may be induced in open seas and concentrate into the Tsugaru Straits by conduction: this is a so-called "induction-conduction effect". The distribution of calculated magnetic fields due to the electric currents passing the Straits proves to be consistent with the observed one.

#### (2) Effects of thick sedimentary layers and necks of land

At the stations near the west boundary of the Ishikari lowland, the induction vectors of the variations of 5 minutes in duration point eastward. The Ishikari lowland is covered by sedimentary layers of several thousand meters in thickness. In view of these facts, concentration of electric currents into the sedimentary layers seems to play a role in geomagnetic variations as well as in the Tsugaru Straits. However, the intensity of these currents may be smaller than that in the Tsugaru Straits because the magnitudes of the induction vectors

are smaller than those on the coasts of the Straits.

The middle part of the study region is a neck of land narrowed by the Pacific and the Sea of Japan. The two stations situated near the southern end of the neck behave somewhat oppositely in the sign of the vertical components in northward variations of shorter than 10 minutes in duration. This may suggest that a part of the currents induced in both the seas by such variations concentrates between the two stations.

### (3) Effects of high heat flows

The whole of the southwestern part of Hokkaido is characteristic of high heat flows higher than 2 HFU. Especially in the area including volcanoes Yotei and Toya, remarkably high heat flows over 4 HFU have been reported. At some stations in this region, the ratio  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  decreases with frequency in variations of shorter than 15 minutes' duration: this may be attributed to effects of a kind of shallow conductors. However, this does not always hold good at all stations in this area. At the present stage it has not been confirmed that small ratio  $\Delta Z/\Delta R$  is related to the high heat flows in this region.

## I. はじめに

地磁気短周期変化（今回の観測では継続時間が2 min. から100 min. 程度のもの）、特に鉛直成分の変化( $\Delta Z$ )があまり離れていない2点で著しく異なることがある。この地磁気短周期変化の異常は海を含めて地殻やマントル上部の電気伝導度異常 (conductivity anomaly, 略して C. A.) によるものである。これは地下の物性に関して独立な情報を与えるという意味で重要であり、1950年代の初め頃から日本などで研究が始められた。現在では、世界各地で多くの C. A. が明らかにされている。日本の C. A. としては、中部日本異常 (Central Japan Anomaly) が代表的なものである。また、KATO et al. (1971)によれば、東北地方北部では、 $\Delta Z/\Delta H$  ( $\Delta H$ : 地磁気変化の南北成分) が負になり (中部日本異常とは逆)、 $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  ( $\Delta R$ : 水平方向の変化分の大きさ) は最大1.0に達することが知られている。本報文中で論ずる北海道南西部はこの異常の北に続く地域である。本地域は内浦湾を取り囲む形をしており、南端は津軽海峡をはさんで青森県の津軽、下北の両半島と対峙し、北東端は石狩低地帯に接している。また、本地域はグリンタフ地域に属し、全域において2 HFU (1HFU=10<sup>-6</sup>cal/cm<sup>2</sup>·sec) を越える高い地殻熱流量が観測され、特に北部の羊蹄山、洞爺湖を含む直径約60 km の地域は4 HFU 以上の異常に高い熱流量を示す。

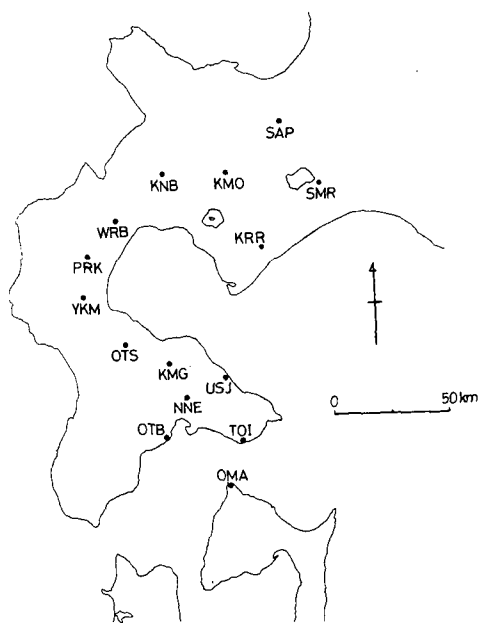


Fig. 1. Location map of observation points.

本報文では、北海道南西部における地磁気短周期変化の異常と前述した本地域の種々の特徴との関連を論ずる。

## II. 観測結果

地磁気変化の観測には G. I. T. 型 3 成分飽和磁芯型直視磁力計を用いた。記録計は打点式直流電位差計を用い、送り速度は 25 mm/hr とした。平均感度は各成分とも約 2  $\gamma$ /mm で、感度検定は 1 ~ 2 週間毎に行った。器械の保守は小、中学校に依託した。観測は 1972 年 8 月から始められ、各観測点での観測期間は 1 ~ 3 ヶ月であった。観測点は Fig. 1 に示す 15 点で、各点の略号、経度、緯度、観測期間は Table 1 に示す。観測点間の距離は WRB (蕨岱) 以南では約 20 km、以北では約 30 km とした。OMA (大間)、TOI (戸井)、KMG (駒ヶ岳)、YKM (八雲)、WRB、SMR (支笏丸山) の 6 点では同時に地電位差変化の観測を行ったが、電極間隔は東西、南北とも約 100 m とし、地磁気変化と一緒に記録した。なお、OTB (渡島当別) と NNE (七飯)、KMG と YKM、PRK (美利河) と WRB、KNB (昆布) と KMO (喜茂別) の 4 組の点では、それぞれ同時観測であった。

観測結果の整理は次のように行った。

地磁気短周期変化の 3 成分をそれぞれ  $\Delta H$  (磁気子午線方向)、 $\Delta D$  (磁気子午線に直角な方向)、 $\Delta Z$  (鉛直方向) と表わし、各観測点で得られた 80 ~ 190 個の変化から以下の諸量を計算した：

$$\left. \begin{aligned} \Delta R &= \{(\Delta H)^2 + (\Delta D)^2\}^{1/2}, \\ \phi &= \tan^{-1}(\Delta D/\Delta H), \\ \gamma &= \Delta Z/\Delta R. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Table 1. Observation points.  $d$  denotes distance from the nearest coast.

Observation point	abbreviation	Longitude (E)	Latitude (N)	$d$ (km)	Observation period	Electrode interval	
						NS (m)	EW (m)
大間	OMA	140° 56'	41° 32'	1.1	Aug. 22, 1972 ~ Sep. 23, 1972	110	110
戸井	TOI	141 4	41 45	0.3	Oct. 5, 1972 ~ Dec. 28, 1972	90	110
渡島当別	OTB	140 35	41 44	0.4	July 24, 1974 ~ Aug. 22, 1974	—	—
七飯	NNE	140 42	41 53	15	July 2, 1974 ~ Aug. 22, 1974	—	—
臼尻	USJ	140 56	41 56	0.3	Dec. 16, 1973 ~ Mar. 1, 1974	—	—
駒ヶ岳	KMG	140 35	42 6	9	Apr. 11, 1973 ~ July 11, 1973	100	80
落部	OTS	140 23	42 9	9	Aug. 22, 1973 ~ Oct. 22, 1973	—	—
八雲	YKM	140 16	42 19	11	Apr. 10, 1973 ~ June 12, 1973	100	100
美利河	PRK	140 12	42 28	12	Oct. 22, 1973 ~ Dec. 15, 1973	—	—
蕨岱	WRB	140 20	42 38	11	{ Oct. 8, 1973 ~ Dec. 15, 1973 June 8, 1974 ~ July 22, 1974	100	100
昆布	KNB	140 36	42 47	21	Aug. 22, 1974 ~ July 10, 1974	—	—
喜茂別	KMO	140 57	42 47	30	Aug. 23, 1974 ~ Nov. 6, 1974	—	—
カルルス	KRR	141 7	42 31	9	Jan. 22, 1975 ~ Apr. 18, 1975	—	—
支笏丸山	SMR	141 27	42 45	17	Mar. 14, 1974 ~ June 4, 1974	100	100
札幌	SAP	141 14	42 58	20	June 11, 1974 ~ June 29, 1974	—	—

RIKITAKE and YOKOYAMA (1955) によって、地磁気短周期変化の3成分の間には

$$\Delta Z = A(\omega) \cdot \Delta H + B(\omega) \cdot \Delta D, \quad (2)$$

なる関係式が知られている。ここで

$\omega$ : 角振動数.

この式の係数  $A$ ,  $B$  は最小2乗法によって周期 (本論文では変化の継続時間の意味で,  $T$  で表わす) 別に計算される。得られた  $A$ ,  $B$  から Induction Vector (以下略して I. V. と書く) が求められる。I. V. とは  $\sqrt{A^2+B^2}$  (すなわち Wiese Vector の大きさ) を大きさとし,  $\theta = \tan^{-1}(B/A)$  のうち(2)で  $\Delta Z$  が負となる向き (すなわち Parkinson Vector の方向) をとるベクトルである。すなわち, その方向は  $\gamma$  が負の最大値 ( $\gamma_{\max}$ ) をとる向きと一致し, その大きさは  $|\gamma_{\max}|$  を与える。  $A$ ,  $B$  は I. V. の要素, 地電位差2成分の変化から求められた地電流の卓越方向とともに,  $T=5$  min. および 60 min. について, Table 2 に示す。

各観測点について得られた(1)の諸量は, (a)  $\overline{\Delta Z/\Delta R} (=|\gamma|)$  の周期特性, (b)  $|\gamma|$  と  $\phi$  を極座標としての表示 (Polar diagram), の2つの形に整理して図示した (Figs. 2~16). I. V. は  $T=5$  min. および 60 min. について, Fig. 17 と Fig. 18 とに示し, Fig. 19 と Fig. 20 とはそれぞれの4方向への投影を示す。

以下, 各観測点における観測結果を示し, 総括的な議論をその後に行う。

**Table 2.** Parameters of "Induction-Vectors" and predominant directions of geoelectric variations.

	$T = 5$ min				$T = 60$ min				$\alpha$
	$A$	$B$	$\theta_0$	$\sqrt{A^2+B^2}$	$A$	$B$	$\theta_0$	$\sqrt{A^2+B^2}$	
OMA	-0.91	0.12	- 16° 9'	0.92	-0.87	-0.20	4° 32'	0.89	N 90° E
TOI	1.01	-0.26	157 10	1.04	0.42	0.22	-160 36	0.48	45
OTB	0.55	-0.27	145 30	0.61	0.17	0.30	-127 34	0.35	—
NNE	-0.23	-0.13	20 50	0.27	-0.33	-0.04	0 31	0.33	—
USJ	-0.75	-0.35	33 26	0.82	-0.65	-0.36	37 19	0.74	—
KMG	-0.29	0.04	- 16 48	0.29	-0.39	0.08	- 19 19	0.40	20
OTS	-0.27	-0.03	- 2 6	0.27	-0.28	0.16	- 38 15	0.32	—
YKM	0.14	0.36	-120 39	0.39	-0.17	0.34	- 71 50	0.38	115
PRK	-0.24	0.43	- 69 8	0.49	-0.52	0.33	- 40 52	0.61	—
WRB	-0.55	0.21	- 29 56	0.59	-0.57	0.13	- 21 48	0.58	170
KNB	-0.29	0.18	- 40 37	0.35	-0.43	0.31	- 44 37	0.53	—
KMO	-0.19	0.12	- 42 6	0.22	-0.24	0.18	- 45 25	0.30	—
KRR	0.10	-0.18	110 52	0.20	-0.20	0. 6	- 26 6	0.21	—
SMR	0.01	-0.38	83 21	0.38	-0.31	-0.18	22 11	0.36	10
SAP	0.07	-0.25	97 20	0.26	-0.24	0.12	- 34 34	0.27	—

$\theta_0$  : Azimuth of I. V. from the geographical north,

$\alpha$  : Predominant direction of earth currents from the geographical north.

II-1 各観測点における結果

(1) 大間 (OMA): 青森県大間町立大間小学校

観測点は津軽海峡の南岸, 下北半島の北西端に位置している。この大間と北海道側の TOI との間は津軽海峡の幅が約 20 km と最も狭く, 海峡断面の最深部は 300 m を越え, この海峡の最深部 (約 400 m) に次ぐものである。

周期特性 (Fig. 2a)

$|\gamma_{\max}|$  は観測された全周期について大きい値をとり, 周期による違いは不明瞭である。この大きな値は, III-1 で述べるように,  $T \approx 5 \text{ min.}$  の変化については, 津軽海峡に集中してくる電流によるものである。また,  $T \approx 60 \text{ min.}$  については, 北海道南西部一帯における I.V. が北ないし北西を向く地域的性質が重なった結果と考えられる。この中間の周期についても, これら 2 つの効果で説明される。

Polar diagram (Fig. 2b)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ北である。これは  $T \approx 5 \text{ min.}$  については, 南北に地磁気に変化する場合に津軽海峡に集中する電流が最大となるからである。従って, その電流によって誘導される  $\overline{\Delta Z}$  もその時に最大となる。また,  $T \approx 60 \text{ min.}$  については, 前項で述べたように, 北海道南西部全域にわたり I.V. が北ないし北西を向くためである。

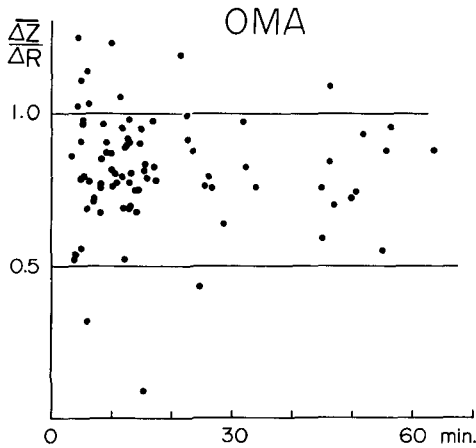


Fig. 2a Dependence of  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  upon periods of variations at OMA.

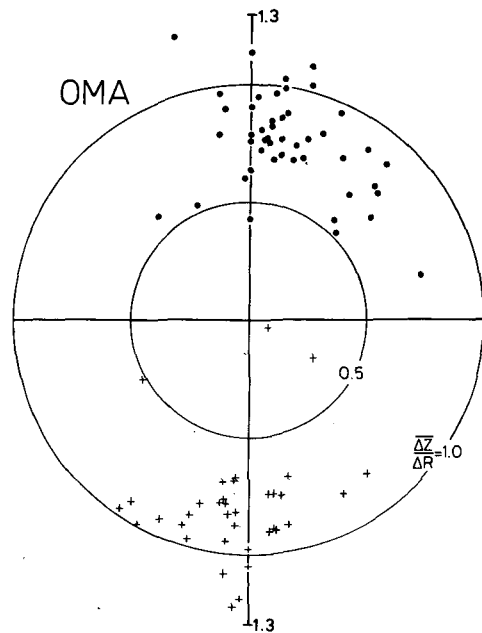


Fig. 2b Polar diagram at OMA. (Crosses and circles denote positive and negative  $\Delta Z$  respectively.)

**地電位差**

地電流の卓越方向は Table 2 に示すように、 $N90^{\circ}E$  である。この方向は明瞭で、ばらつきは  $\pm 10^{\circ}$  以下である。これは津軽海峡の走向 ( $N65^{\circ}E$ ) にほぼ平行である。地磁気変化が北向きの場合は、地電流は  $N90^{\circ}W$  へ流れる。観測点が海峡の縁に位置するため、地電流は海峡中の電流の滲透と考えられる。従って、海峡中の電流の卓越方向は地電流の卓越とほぼ同じと思われる。それゆえ地電流の卓越方向は海峡中の電流を外海からの集中とする考えと合致している。

**(2) 戸井 (TOI): 戸井町立日新中学校**

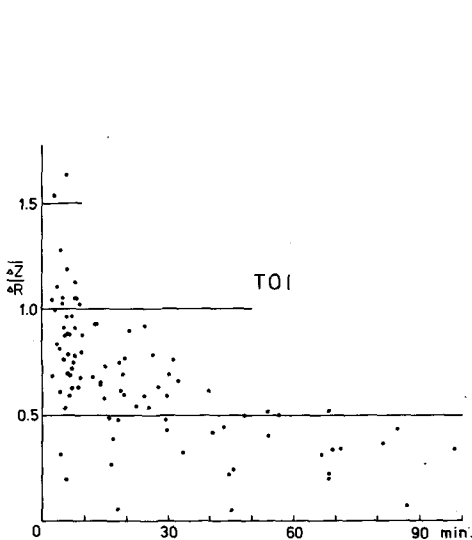
観測点は OMA の北、約 20 km の津軽海峡最狭部をはさんで海峡北岸に位置している。

**周期特性 (Fig. 3a)**

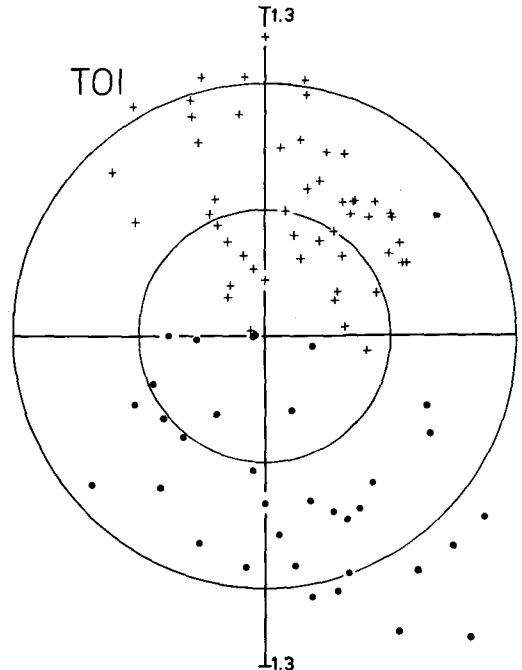
$|\gamma_{max}|$  は  $T \approx 5$  min. では約 1.0 であるが、周期が長くなるにつれて減少し、 $T \approx 50$  min. 以後は約 0.5 で一定している。このような周期特性は OMA では認められなかったもので、以下の理由から津軽海峡北岸の特性と考えられる。すなわち、III-1 で述べるように、 $T \approx 5$  min. では津軽海峡に集中する電流によって海峡兩岸に大きな  $|\gamma_{max}|$  が作られる。 $T \approx 60$  min. では、北海道南西部全体の特性が津軽海峡北岸においては海峡中の電流とは逆符号の  $\Delta Z$  を与えるため  $|\gamma_{max}|$  が小さくなる。この中間の周期についても、この2つの効果で説明される。

**Polar diagram (Fig. 3b)**

$\gamma_{max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ南である。これは、 $T \approx 5$  min. については、



**Fig. 3a** Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at TOI.



**Fig. 3b** Polar diagram at TOI.

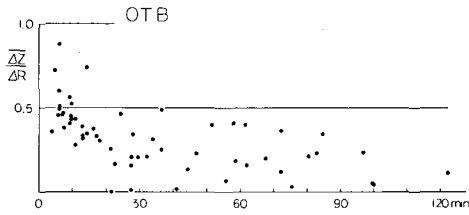
OMA と同様に、地磁気変化が南北の時に津軽海峡に集中する電流が最大となるからである。また、 $T \approx 60 \text{ min.}$  については、海峡中の電流の効果が北海道南西部の特性に打ち勝っているためと思われる。いずれにしても、この南向きは津軽海峡に集中してくる電流に起因している。

**地電位差**

地電流の卓越方向は Table 2 に示すように、 $N45^\circ E$  である。そのばらつきは  $\pm 15^\circ$  程度である。この方向は OMA のものとは異なるが、津軽海峡の走向にほぼ平行である。地磁気変化が北を向く時には、地電流は  $N135^\circ W$  へ流れる。OMA と同じ理由から、TOI における地電流の卓越方向は海峡中の電流を外海からの集中とする考えと矛盾しない。

**(3) 渡島当別 (OTB): 上磯町立石別小学校**

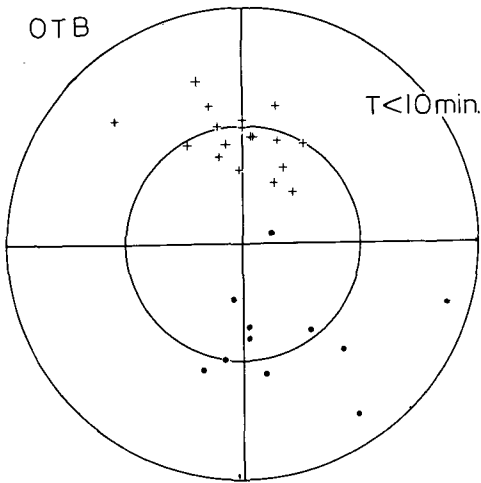
観測点は TOI の西約 35 km、津軽海峡北岸に位置している。この点を通り海峡の走向に直交する海峡断面は津軽海峡の平均的断面と類似しており、幅は約 45 km、最深部は約 230 m である。



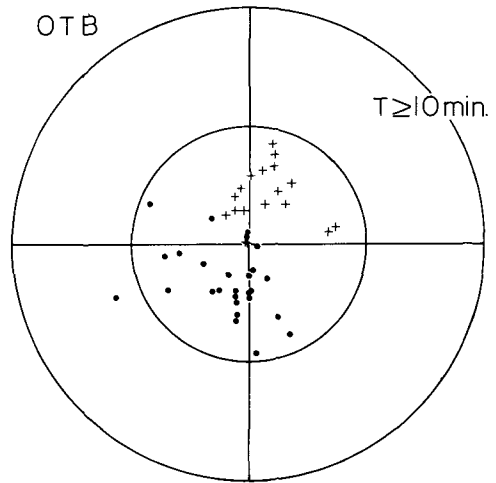
**Fig. 4a** Dependence of  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  upon periods of variations at OTB.

**周期特性 (Fig. 4a)**

$|\gamma_{max}|$  は  $T \approx 5 \text{ min.}$  では約 0.6 であるが、TOI と同様に、周期が長くなるにつれて減少し、 $T \approx 50 \text{ min.}$  では約 0.35 となり、以後はほぼ一定である。これは TOI について述べた原因と同じ原因によると思われる。全周期にわたり、 $|\gamma| (= \overline{\Delta Z}/\Delta R)$  が TOI より小さいのは III-1 で述べるように、海峡断面積が OMA・TOI 間より大きく、電流密



**Fig. 4b** polar diagram for  $T < 10 \text{ min.}$  at OTB.



**Fig. 4c** Same as Fig. 4b ( $T \geq 10 \text{ min.}$ ).

度が小さくなるためである。

#### Polar diagram (Figs. 4b,c)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は  $T < 10$  min. の場合 (Fig. 4b) と  $T \geq 10$  min. の場合 (Fig. 4c) とでは明らかに異なっている。前者は TOI について (Fig. 3b) と同方向で海峡に直交しほぼ南向きであるが、後者は海峡に平行してほぼ西を向いている。これらも、前項と同様に、TOI について述べたのと同じ原因である。ただし、 $T \approx 60$  min. で西を向くのは、海峡中の電流の効果が TOI ほど大きくないため、北海道南西部の特性が海峡に直交する成分を打ち消したためと考えられる。

#### (4) 七飯 (NNE): 七飯町立七飯小学校

観測点は函館の北約 15 km に位置している。そのため、函館市電の影響が心配されたが、ほとんど認められなかった。

#### 周期特性 (Fig. 5a)

$|\gamma_{\max}|$  は観測された全周期にわたって小さな値 (0.4 以下) を示す。特に  $T < 10$  min. では、 $|\gamma_{\max}|$  は周期が短くなるとともに減少し、 $T = 5$  min. では約 0.3 になる。このような周期特性は津軽海峡兩岸の観測点のものとは全く異なっている。従って、津軽海峡の効果は NNE までには及んでいない。短い周期での  $|\gamma_{\max}|$  の減少は、III-3 で述べるように、高地殻熱流量地域の特徴であるが、NNE のそれが本地域の 2 HFU ( $1 \text{ HFU} = 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ) を越える高熱流量と結びつくかどうかは不明である。

#### Polar diagram (Fig. 5b)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ北である。これは海峡中を流れる電流から期

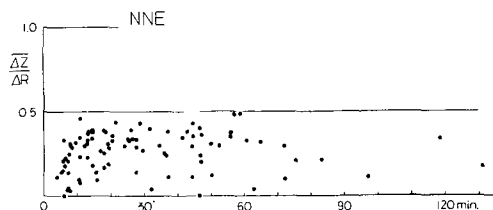


Fig. 5a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at NNE.

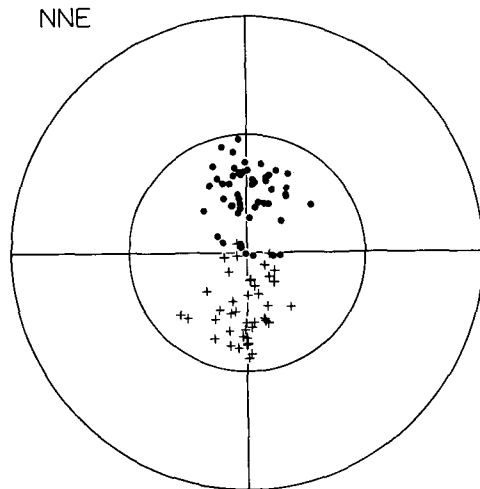


Fig. 5b Polar diagram at NNE.

待される方向とは逆である。ゆえに、NNE では津軽海峡の効果は明らかに認められない。 $T \approx 60 \text{ min.}$ での北向きは北海道南西部の特性の現われである。 $T < 10 \text{ min.}$ については、 $|\gamma_{\max}|$ が小さいので有意性は少ないが、 $T \approx 60 \text{ min.}$ についてと同じ原因によるのかもしれない。

(5) 白尻 (USJ): 南茅部町立白尻小学校

観測点は内浦湾口の南の太平洋岸に位置している。

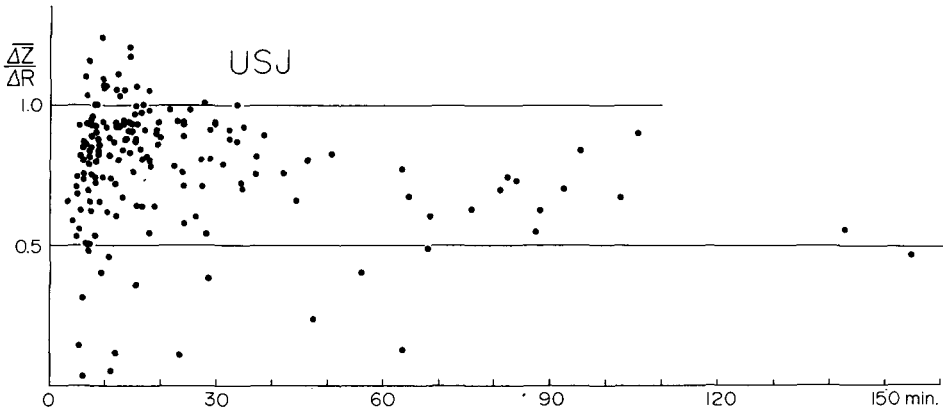


Fig. 6a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at USJ.

周期特性 (Fig. 6a)

$|\gamma_{\max}|$  は全周期にわたって大きく (0.8 以上), 周期が長くなるとともに若干減少する。これは短い周期 ( $T < 15 \text{ min.}$ ) の変化については、内浦湾へ流れこむ電流による。また、長い周期 ( $T \approx 60 \text{ min.}$ ) の変化についてはその電流の効果に北海道南西部の特性が重ね合わされた結果と考えられる。

Polar diagram (Fig. 6b)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらず、ほぼ北東で海岸線に直交している。これは、前項と同じく、内浦湾へ流入する電流の効果と北海道南西部の特性とで説明される。

(6) 駒ヶ岳 (KMG): 森町立駒ヶ岳小中学校

観測点は駒ヶ岳西麓に位置している。

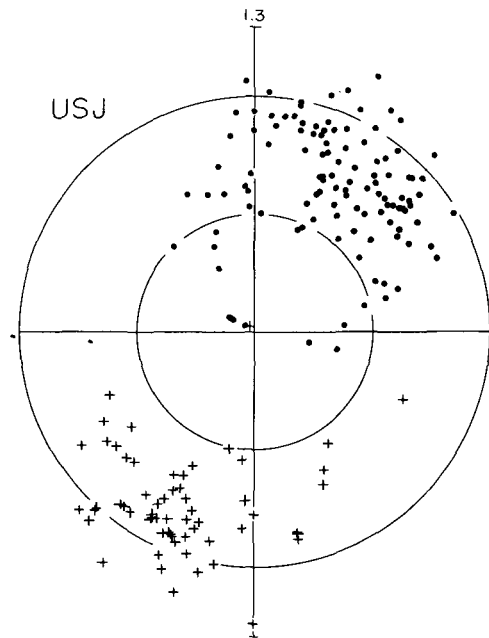


Fig. 6b Polar diagram at USJ.

周期特性 (Fig. 7a)

$|\gamma_{\max}|$  は  $T \approx 5 \text{ min.}$  では約 0.3 と小さ

いが、周期とともに増大し、 $T \approx 30 \text{ min.}$  で約0.5と最大になる。以後は若干の減少傾向を示し、 $T \approx 60 \text{ min.}$  では約0.4である。このように、KMGにおいても、NNE に似て短い周期における減少が見られる。しかし、III-3 で述べるように、高地殻熱流量とはっきり関係づけられるかどうかは不明である。

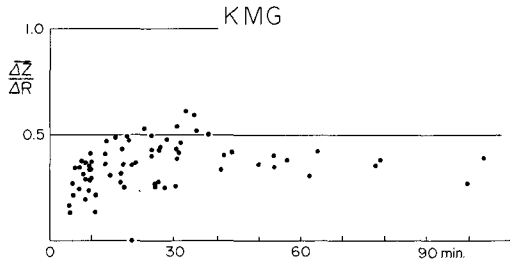


Fig. 7a Dependence of  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  upon periods of variations at KMG.

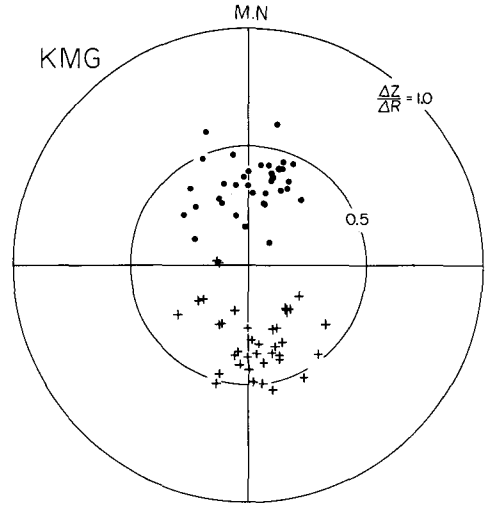


Fig. 7b Polar diagram at KMG.

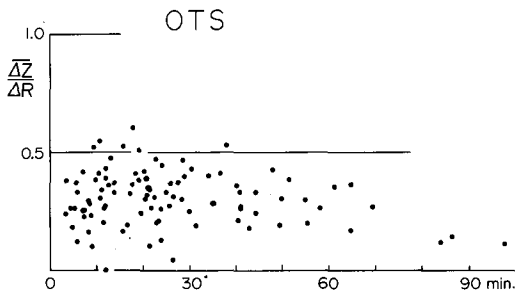


Fig. 8a Dependence of  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  upon periods of variations at OTS.

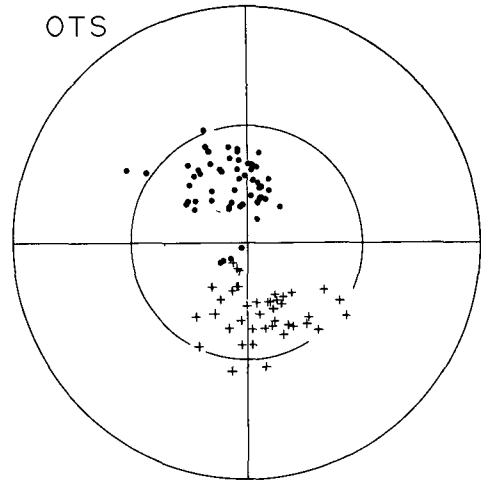


Fig. 8b Polar diagram at OTS.

**Polar diagram (Fig. 7b)**

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ北である。この方向は、 $T \approx 60$  min. の変化については、北海道南西部の特性である全域にわたる北ないし北西向きの現われと思われる。そして、短い周期の変化については、 $|\gamma_{\max}|$  が小さくなるので、内浦湾へ流れこむ電流の効果と考えるのは困難である。従って、NNE と同様に、 $T \approx 60$  min. と同じ原因かもしれない。しかし、 $|\gamma_{\max}|$  が小さいので余り有意ではない。

**地電位差**

地電流の卓越方向は Table 2 に示されるように  $N20^\circ E$  である。この方向は比較的明瞭で、ばらつきは  $\pm 15^\circ$  程度である。そして、最も近い海である内浦湾の海岸線にはほぼ直交している。これは海に近い観測点で普通に得られる方向である。従って、津軽海峡兩岸の OMA と TOI で見られたような電流の滲透はないようである。

**(7) 落部 (OTS): 落部町立上の湯小学校**

観測点は渡島半島の細くなっている部分(以下地峡と書く)の南端に位置している (Fig. 26)。その東方約 5 km には濁川地熱地帯がある。

**周期特性 (Fig. 8a)**

$|\gamma_{\max}|$  は  $T \approx 5$  min. では約 0.3 であるのが、周期とともに増大し  $T \approx 20$  min. で約 0.5 と最大になる。以後わずかな減少傾向を示し、 $T \approx 60$  min. では約 0.3 になる。これは KMG において見られたのと同様の特性である。原因も同様と思われるが、何によるかは不明である。

**Polar diagram (Fig. 8b)**

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は北ないし北西である。この方向は短い周期については、III-2 で述べるように、OTS と次に述べる YKM との間に集中すると思われる電流の効果であろう。また長い周期については、北海道南西部の特性の現われと考えられる。

**(8) 八雲 (YKM): 八雲町立大関小中学校**

観測点は(7)で述べた地峡の南部に位置する。また、この地峡の中央部にある比較的海抜高度の低い地域の南側に位置する (Fig. 26)。

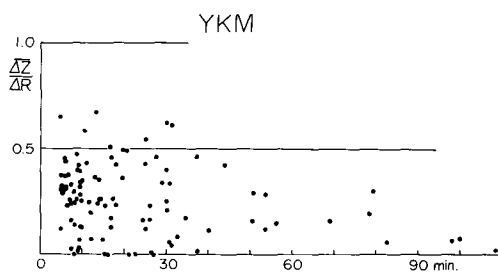


Fig. 9a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at YKM.

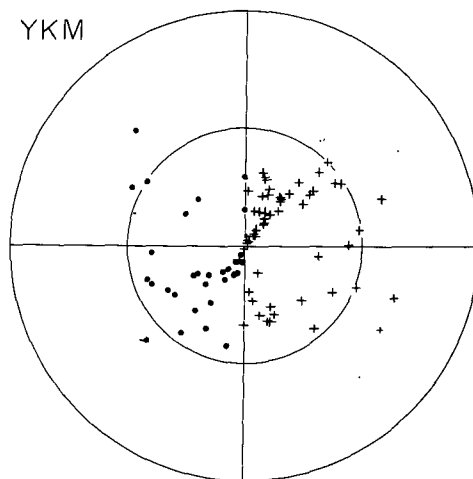


Fig. 9b Polar diagram at YKM.

**周期特性 (Fig. 9a)**

$T \approx 40$  min. までについては、 $|\gamma_{\max}|$ の周期による違いは小さく、0.4前後の値をとる。また、 $T \approx 60$  min. については、この図からはわからないが、I. V. を計算すると $|\gamma_{\max}|$ は約0.4となり、短い周期と違わない値を持っている。従って、観測された周期については、周期による違いは認められない。これはOTSあるいはKMGの周期特性から $T < 20$  min. での減少を除いた形である。このことは、III-3で述べるように、地殻熱流量との関係の存在に否定的な論拠となる。

**Polar diagram (Fig. 9b)**

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ西である。しかし、Figs. 17, 18に表わされているようにI. V. によれば、 $T \approx 5$  min. の変化には南向きの、 $T \approx 60$  min. のものには北向きの成分が含まれていることがわかる。このように、 $T \approx 5$  min. では南向きの成分が含まれており、OTSについて述べたように、OTSとYKMとの間に電流が集中すると思われる。 $T \approx 60$  min. については、北海道南西部の特性を表わしていると考えられる。しかし、短い周期の変化に含まれる西向きの成分については、原因は不明である。

**地電位差**

地電流の卓越方向は、Table 2に示すように、 $N115^\circ E$ である。そのばらつきは $\pm 20^\circ$ ほどである。この方向は、KMGのように、最も近い海岸線に直交するとも言えるが、内浦湾に流れこんだ電流の一部であるOTSとYKMとの間に集中する電流に平行とも言える。

**(9) 美利河 (PRK): 今金町立美利河小中学校**

観測点は(8)で述べた比較的海拔高度の低い地域の北側に位置している。

**周期特性 (Fig. 10a)**

$|\gamma_{\max}|$  は $T \approx 5$  min. では約0.5であるが、周期とともに増大し $T \approx 15$  min. では0.6を越える。そして、さらに周期が長くなると若干減少する。しかし、 $T \approx 60$  min. については観測された変化が少ないためはっきりしたことは言えない。そこで、YKMと同様に、I. V. を計算すると、 $|\gamma_{\max}|$ は約0.6となり、 $T \approx 15$  min. に比べてほとんど減少していないことがわかる。従って、 $|\gamma_{\max}|$ は短い周期でやや小さい他は、周期にかかわらずほぼ一定であると言える。この短い周期での減少はあまり明瞭でなく、 $T \approx 5$  min. で $|\gamma_{\max}|$ が約0.5と大きいので、高地殻熱流量と結びつけて考えるのは無理である。

**Polar diagram (Fig. 10b)**

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ北西である。これは、 $T \approx 60$  min. については、北海道南西部の特性を示すと考えられるが、 $T \approx 5$  min. については、原因は不明である。しかし、短い周期においても北西を向くことから、YKMにおける西南西向きと合わせて考えると、YKMとPRKとの間にある比較的海拔高度の低い地域には、津軽海峡のような電流の集中はないと思われる。

**(10) 蕨岱 (WRB): 長万部町立蕨岱小学校**

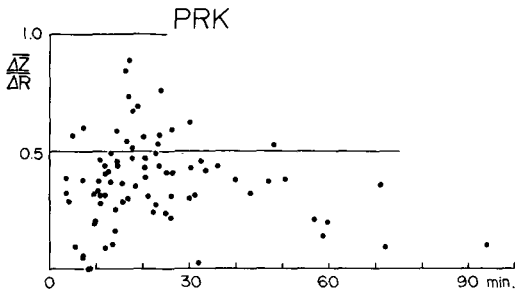


Fig. 10a Dependence of  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  upon periods of variations at PRK.

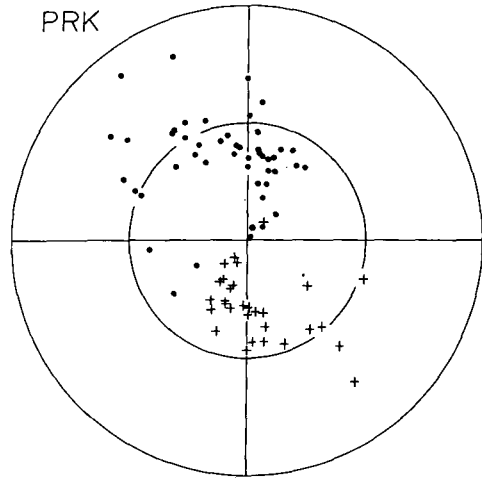


Fig. 10b Polar diagram at PRK.  
(Crosses and circles denote positive and negative  $\Delta Z$  respectively.)

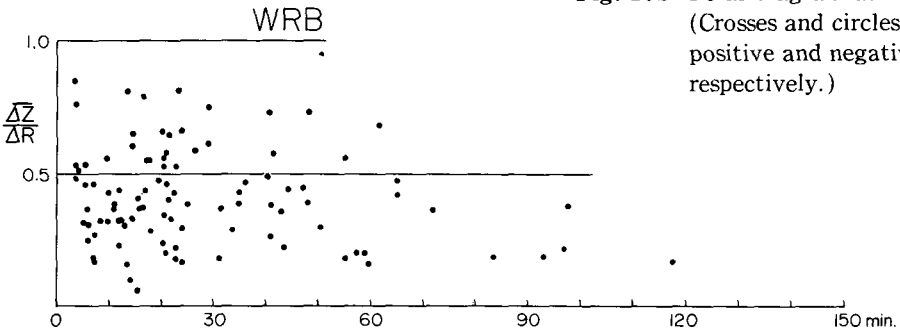


Fig. 11a Dependence of  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  upon periods of variations at WRB.

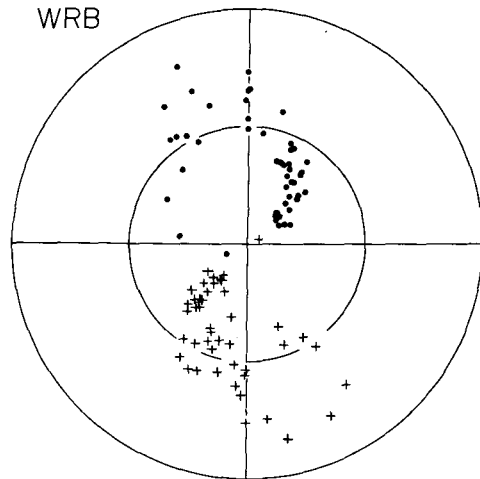


Fig. 11b Polar diagram at WRB.

観測点は(7)で述べた地峡の北端に位置している。この地峡北部は中央部同様海拔高度が低い。  
周期特性 (Fig. 11a)

$|\gamma_{\max}|$ の周期による相違はわずかで、少なくとも  $T \approx 60 \text{ min.}$  までは 0.6 前後で一定している。これは OMA より小さい値であるが、傾向としては OMA と同じである。この原因は不明

である。

### Polar diagram (Fig. 11b)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は周期にかかわらずほぼ北北西である。これは、長い周期 ( $T \approx 60$  min.) については、北海道南西部の特性の現われと考えられる。しかし、短い周期については、原因は不明である。

### 地電位差

Table 2 に示されるように、地電流の卓越方向は  $N170^\circ E$  である。観測された変化の数は少ないが、この方向は明瞭でばらつきは  $\pm 10^\circ \sim 15^\circ$  である。この方向は観測点のある地峡北部の低地の走向に平行である。地磁気変化が北向きの時には、地電流は  $N10^\circ W$  へ流れる。

#### (1) 昆布 (KNB): ニセコ町蘭越町学校組合立昆布小学校

観測点はニセコ連峰の南にあり、江原・横山 (1971) によると 4 HFU 以上の地域に属している。

### 周期特性 (Fig. 12a)

$|\gamma_{\max}|$  は  $T < 10$  min. で減少する傾向を示し、 $T \approx 5$  min. で約 0.35 である。 $T > 10$  min. では周期による違いは認められず約 0.5 である。このような特性は次に述べる KMO にも認められる。同様の特性が 2 HFU 以上の地域にある NNE などにも認められる。しかし、2 HFU 以上の地域内でも、YKM では認められず、PRK では  $|\gamma_{\max}|$  が  $T \approx 5$  min. に対して約 0.5 と大きい。従って、III-3 に述べるように、 $T < 10$  min. での減少が地殻熱流量と関係づけられるかどうかは不明である。

### Polar diagram (Fig. 12b)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は、周期にかかわらず北西である。これは  $T > 10$  min. については、北海

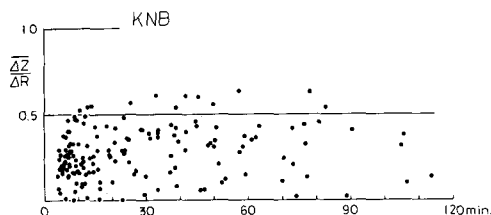


Fig. 12a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at KNB.

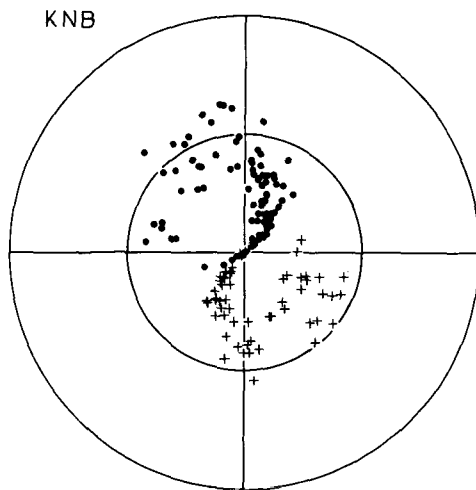


Fig. 12b Polar diagram at KNB.

道南西部の特性の現われと思われる。  $T < 10 \text{ min.}$  については、 $|\gamma_{\max}|$  が小さいので有意性は少ないが、 $T > 10 \text{ min.}$  と同じ原因と思われる。

#### (12) 喜茂別 (KMO): 喜茂別町立喜茂別小学校

観測点は羊蹄山の東に位置し、KNBと同様に、4 HFU 以上の高地殻熱流量地域に属している。

#### 周期特性 (Fig. 13a)

$|\gamma_{\max}|$  はKNBと同様な特性を示す。すなわち、 $T < 10 \text{ min.}$  で減少傾向を示し、 $T \approx 5 \text{ min.}$  では約0.2となり、 $T > 10 \text{ min.}$  ではほぼ一定で約0.3である。この原因はKNBと同じと考えられるが、それは不明である。また、全周期にわたりKNBの値の60%の値を示すが、その原因も不明である。

#### Polar diagram (Fig. 13b)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向はKNBと同様に、周期にかかわらずほぼ北西である。これはKNBと同様に、北海道南西部の特性の現われと考えられる。

#### (13) カルルス (KRR): 登別市立カルルス温泉小学校

観測点は登別温泉の西約4 kmに位置し、(11)、(12)でふれた4 HFU 以上の高地殻熱流量地域に属すると考えられる。

#### 周期特性 (Fig. 14a)

$|\gamma_{\max}|$  は周期にかかわらず小さく0.3以下である。これは後述するSMR、SAPと同様の特性である。

#### Polar diagram (Figs. 14b,c)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は、 $T < 7.5 \text{ min.}$  では東南東 (Fig. 14b) で海岸線にほぼ直交するが、 $T \geq 10 \text{ min.}$  では北北西 (Fig. 14c) である。これは、前者は海の影響と考えられ、後者は北海道南西部の特性の現われと思われる。しかし、いずれにしても $|\gamma_{\max}|$  が小さいので、有意性は少ない。

#### (14) 支笏丸山 (SMR): 苫小牧市立丸山小学校

観測点は支笏湖東岸から東へ約3 kmに位

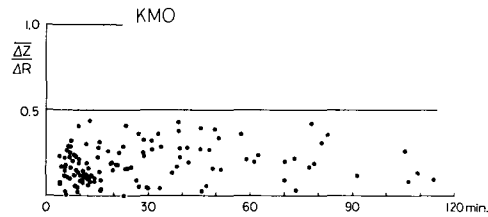


Fig. 13a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at KMO.

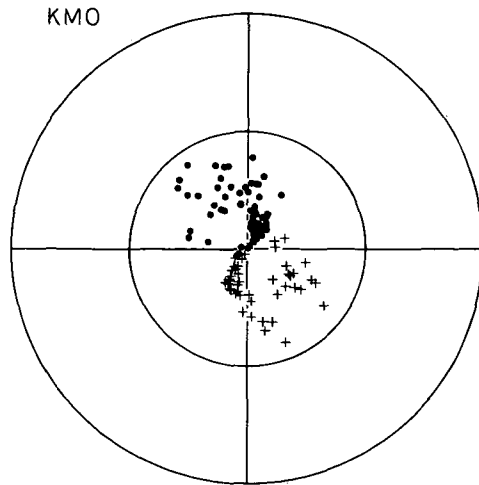


Fig. 13b Polar diagram at KMO.

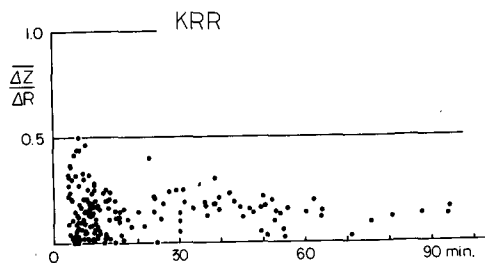


Fig. 14a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at KRR.

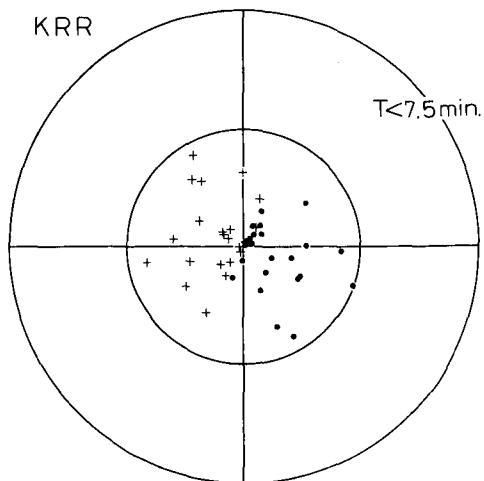


Fig. 14b Polar diagram for  $T < 7.5$  min. at KRR.

置し、石狩低地帯の西縁にあたる。

#### 周期特性 (Fig. 15a)

$|\gamma_{\max}|$  は周期にかかわらずほぼ一定で、0.3~0.4の値をとる。これはKRRや次に述べるSAPと同様の特性である。

#### Polar diagram (Figs. 15b, c)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は、 $T < 10$  min. ではほぼ東 (Fig. 15b) であるが、 $T \approx 60$  min. ではほぼ北北東 (Fig. 15c) である。 $T < 10$  min. については、III-2で述べるように、石狩低地帯に集中する電流の効果と思われる。また、 $T \approx 60$  min. については、北海道南西部の特性と集中電流の効果の重ね合わせと考えられる。

#### 地電位差

Table 2 に示されるように、地電流の卓越方向はほぼ  $N 10^\circ E$  であるが、そのばらつきは  $\pm 25^\circ$  に達する。この方向は、石狩低地帯の走向 ( $N 20^\circ W$ ) にほぼ平行である。地磁気変化が東向きの場合には、地電流は  $N 10^\circ E$  へ流れる。

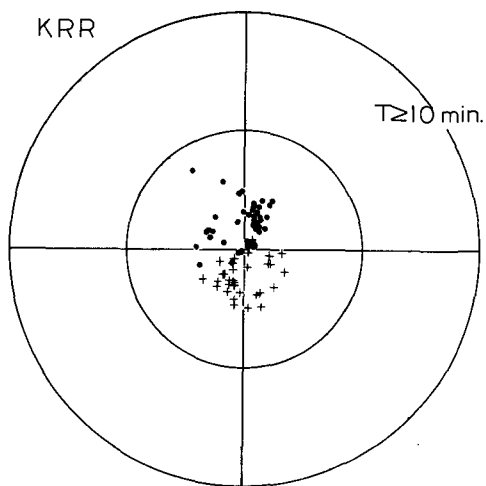


Fig. 14c Same as Fig. 14b ( $T \geq 10$  min.).

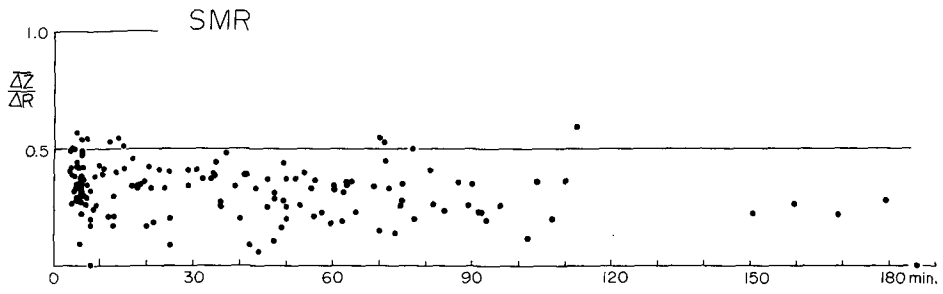


Fig. 15a Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon periods of variations at SMR.

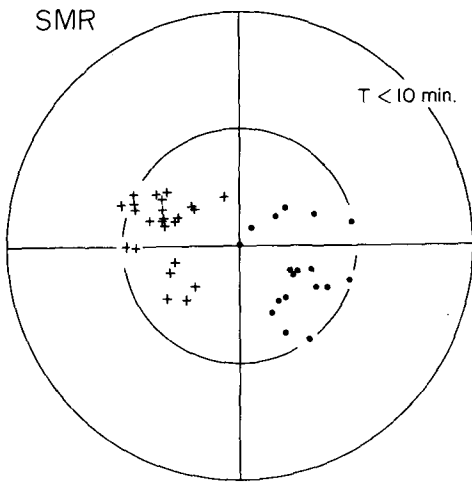


Fig. 15b Polar diagram for  $T < 10$  min. at SMR.

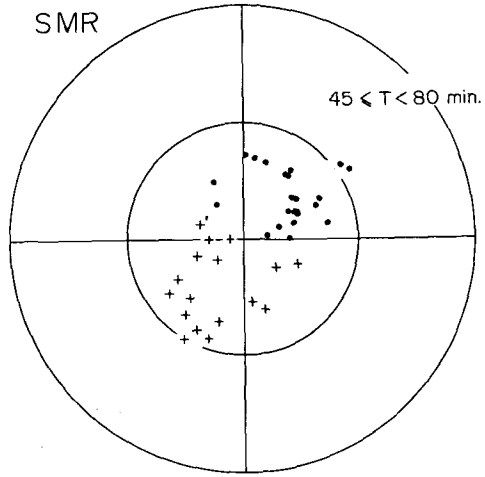
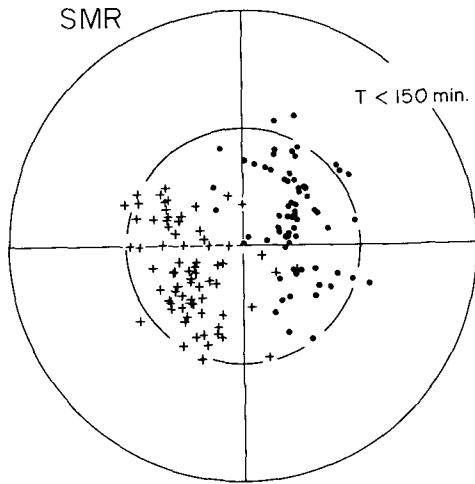
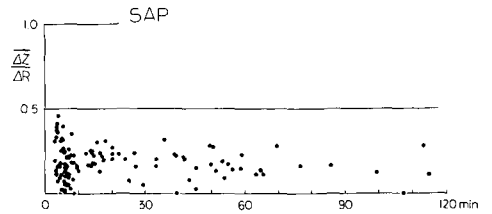


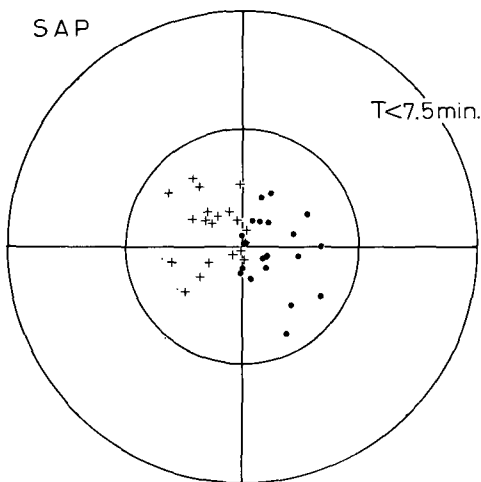
Fig. 15c Same as Fig. 15b ( $45 \leq T < 80$  min.).



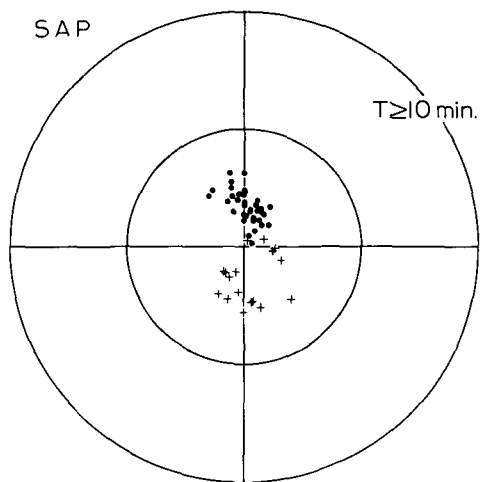
**Fig. 15d** Same as Fig. 15b  
( $T < 150$  min.).



**Fig. 16a** Dependence of  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  upon  
periods of variations at  
SAP.



**Fig. 16b** Polar diagram for  $T < 7.5$   
min. at SAP.



**Fig. 16c** Same as Fig. 16b  
( $T \geq 10$  min.).

従って、この観測点における地電流は石狩低地帯へ流れこんだ電流の一部と考えられる。

(15) 札幌 (SAP): 北海道大学理学部付属札幌地震観測所

観測点は札幌市の中心から南西へ約15 kmの場所にある。それゆえに、地下鉄および市電の影響が心配されたが、障害になるほどの影響は認められなかった。

周期特性 (Fig. 16a)

$|\gamma_{\max}|$  は周期にかかわらず 0.2 前後の値をとる。これは、KRR および SMR と同様の特性である。

Polar diagram (Figs. 16b, c)

$\gamma_{\max}$  が負となる方向は、 $T < 7.5 \text{ min.}$  ではほぼ東であるが、 $T \geq 10 \text{ min.}$  ではほぼ北北西である。これは、 $T < 7.5 \text{ min.}$  については SMR と同様に、石狩低地帯へ集中してくる電流の効果と考えられる。また、 $T \approx 60 \text{ min.}$  については北海道南西部の特性を示していると考えられる。SMR とは異なり、 $T \approx 60 \text{ min.}$  で石狩低地帯の影響が認められないことと、 $T < 7.5 \text{ min.}$  での  $|\gamma_{\max}|$  が SMR より小さいことから、低地帯の影響は SMR ほどではないと考えられる。

II-2 Induction Vector の分布

各点の特性については前述した通りであるが、ここでは本地域の一部あるいは全域にわたって見られる特性を明らかにする。それには I.V. を図示するのが便利である。それは I.V. が  $\gamma_{\max}$  が負の方向と  $|\gamma_{\max}|$  を示すからである。従って、異常変化が電磁誘導による場合には、電気伝導度が大きい物体のある方向を示す。また、他の場所で誘導された電流の集中による場合には、集中した電流に直交する方向を与える。I.V. の周期による違いと平面的広がりとは C.A. の広がり、深さなどが推定される。

Fig. 17 および Fig. 18 はそれぞれ  $T = 5 \text{ min.}$  と  $T = 60 \text{ min.}$  の I.V. である。これらから以下のことが読みとれる：

- (1) 津軽海峡付近
  - ・海峡両岸での方向の逆転。
  - ・TOI における周期による前述のような大きさの変化。

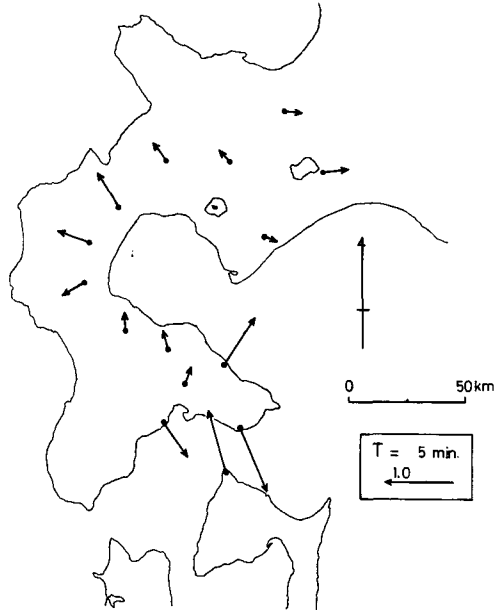


Fig. 17 Induction vectors for  $T = 5 \text{ min.}$

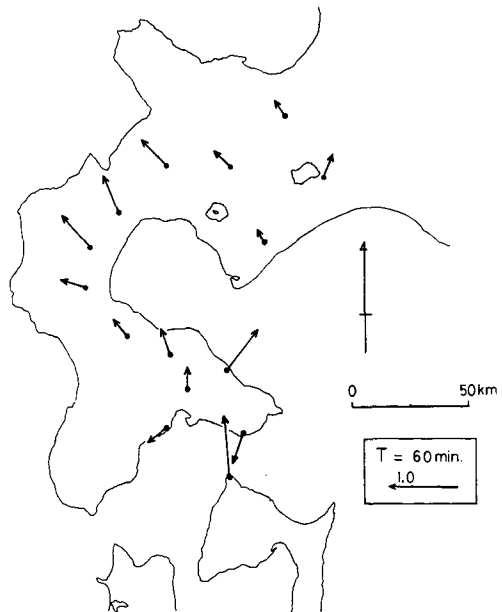


Fig. 18 Induction vectors for  $T = 60 \text{ min.}$

- ・ OTB における周期による前述のような大きさおよび方向の変化。
- ・ OMA で周期にかかわらず大きいこと。
- (2) 石狩低地帯付近
  - ・  $T = 5 \text{ min.}$  での東向き。
  - ・ 周期による方向の変化。
- (3) その他
  - ・ KNB, KMO, OTS, KMG, NNE の 5 点で,  $T = 5 \text{ min.}$  のベクトルが  $T = 60 \text{ min.}$  のものに比べて小さいこと。
  - ・ WRB, USJ で周期にかかわらず大きいこと。
  - ・  $T = 60 \text{ min.}$  で北ないし北西向きが卓越していること。

Fig. 19 と Fig. 20 はそれぞれ  $T = 5 \text{ min.}$  と  $T = 60 \text{ min.}$  の I.V. を, 北-南, 北東-南西, 東-西, 南東-北西の 4 方向に投影したものである。すなわち, この 4 方向に地磁気に変化した時の  $\gamma$  が負となる方向と  $|\gamma|$  を示している。これらの図から, Fig. 17 と Fig. 18 から読み取られたことがより明瞭にわかる。さらに, Fig. 19(a) から,

- ・  $T = 5 \text{ min.}$  での OTS と YKM との間の方向の逆転, がわかる。

以上述べた異常の原因の空間的広がりについて, Figs. 17 ~ 20 から, 以下のことがわかる:

(1) 津軽海峡付近の異常

逆転は  $T = 60 \text{ min.}$  でも見られるが, NNE では認められないほど平面的広がり小さい。従って, 原因は浅所にある。すなわち, 津軽海峡が原因であろう。

(2) 石狩低地帯付近の異常

東向きは  $T = 5 \text{ min.}$  についてしか認められないし, KMO では認められない。従って, 低地帯西側の広がり小さく, 浅い原因, すなわち石狩低地帯が原因であろう。

(3) KNB と KMO の異常

観測点の分布により平面的な広がりはっきりしない。しかし,  $T = 5 \text{ min.}$  で小さいことから, 浅い原因と思われる。

(4) OTS, KMG, NNE の異常

(3) と同様の理由で浅い原因と思われる。

(5) WRB の異常

この点でのみ見られるから, 局所的原因であろう。

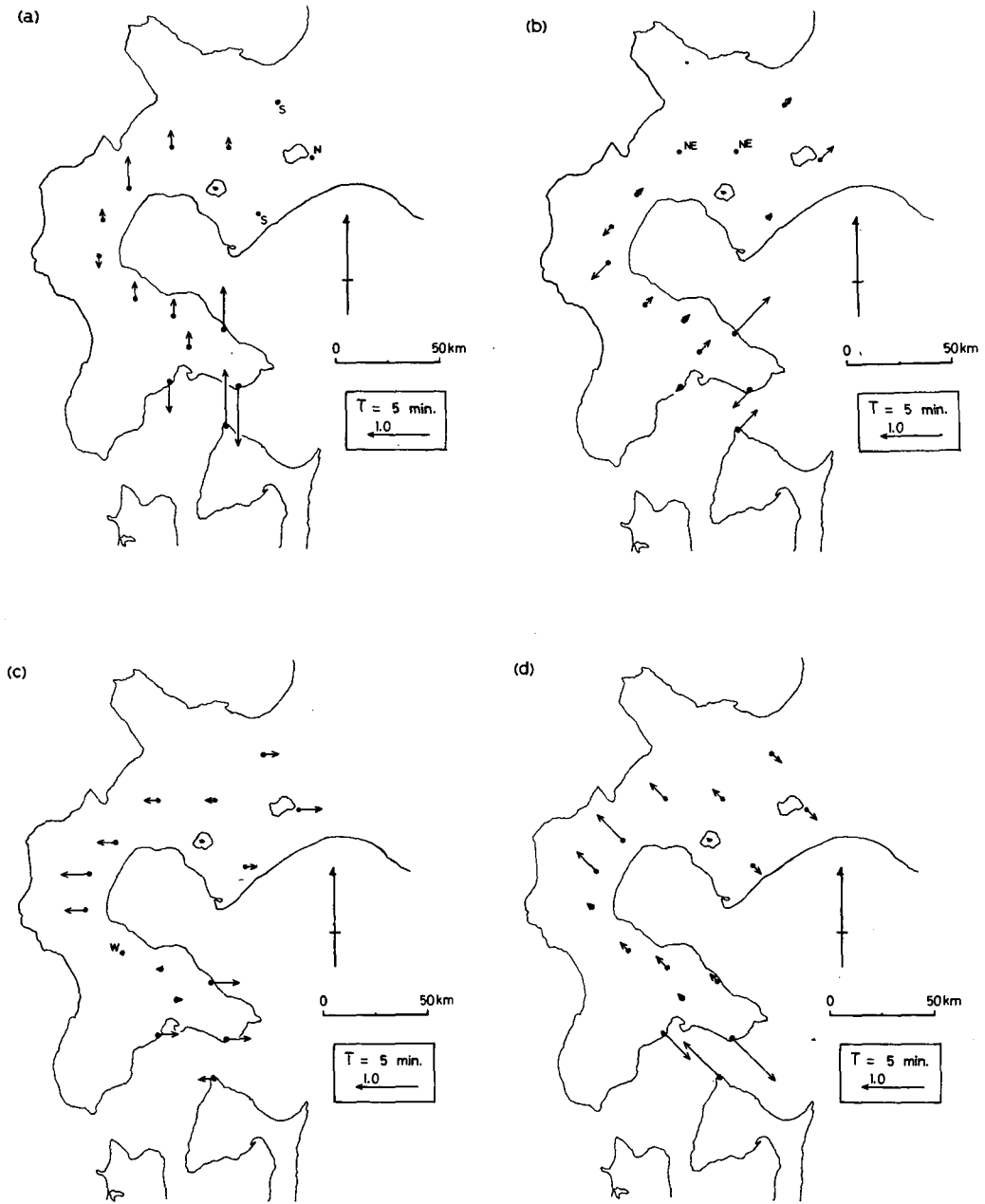
(6) USJ の異常

この点のみの異常で海岸に位置するから, 海に関係すると考えられる。

(7) OTS と YKM の異常

$T = 5 \text{ min.}$  についてのみ認められ, PRK では認められない。従って浅い原因と考えられる。

(8)  $T = 60 \text{ min.}$  における全体的特性



**Fig. 19** Induction vectors projected to four directions ( $T = 5 \text{ min.}$ ).  
 (a) N-S, (b) NE-SW, (c) E-W,  
 (d) SE-NW.

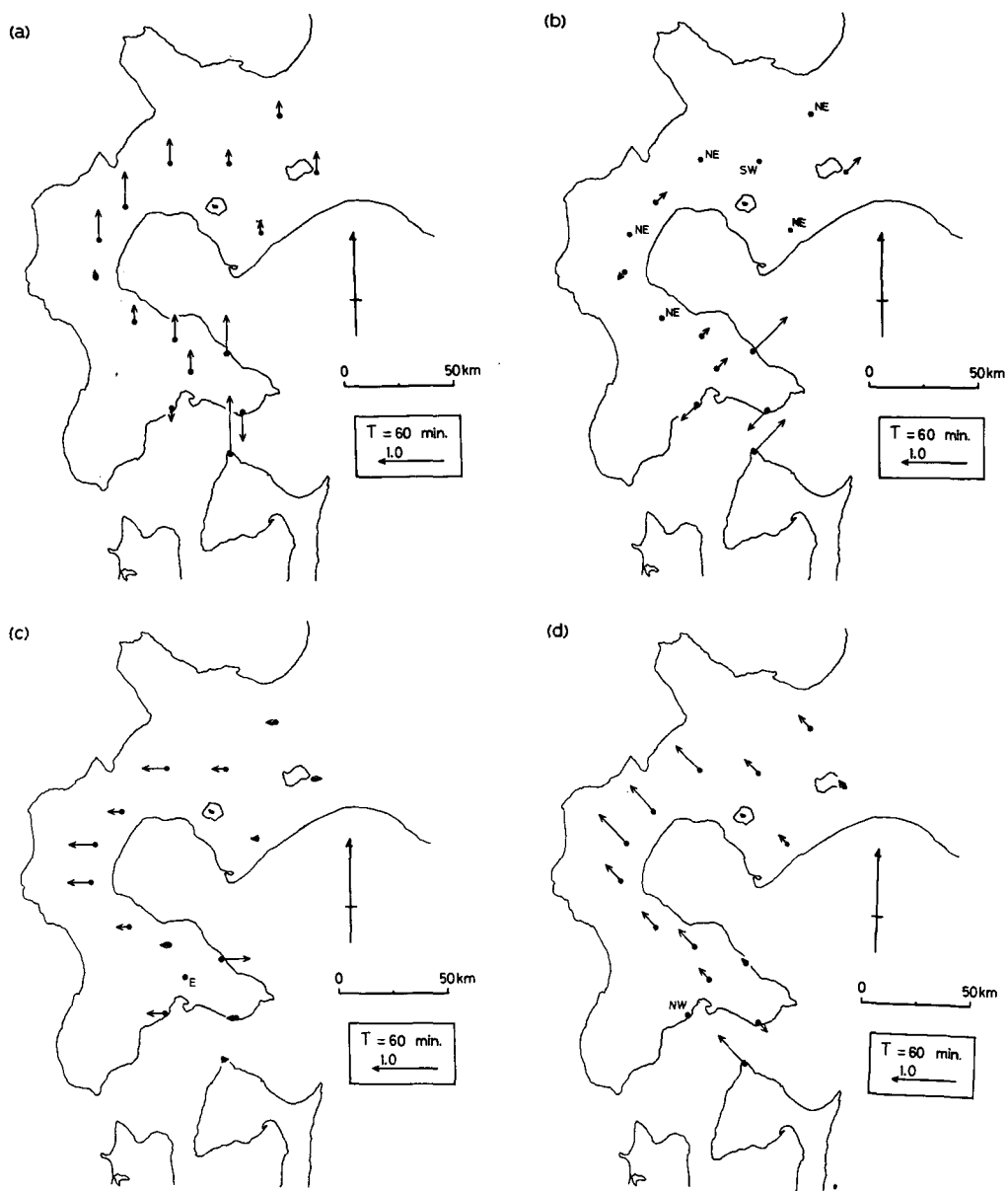


Fig. 20 Same as Fig. 19  
( $T = 60 \text{ min.}$ )

$T = 60 \text{ min.}$  についてのみ認められ全域にわたるので、原因は地下深部にあると思われる。

### III. 結果の考察

IIにおいて、各観測点における観測結果を示し、各点の特性、局地的異常の性質、本地域全般にわたる傾向を明らかにした。地磁気短周期変化の解析においては、以上のことから本地域の地下深部の構造を明らかにすることが最終目的である。しかし、そのためには、比較的浅所に原因

を持つと思われる局地的異常を明確にし、その効果を分離して地下深部の効果を明瞭にしなければならぬ。そのために、本論文では、以下において前述したような局地的異常について予備的考察を行う。

### III-1 津軽海峡の効果

GIORGI and YOKOYAMA (1968) によれば、地中海の Corsica 島と Sardinia 島の Bonifacio 海峡の南側に位置する Maddalena で、地磁気短周期変化の異常が観測された。すなわち、その周辺の観測所では、 $\Delta Z/\Delta R$  は周期にかかわらず小さく、地磁気変化が南向きの時負となるのに対し、Maddalena では、地磁気変化が北を向く時に負となり、 $T < 10 \text{ min.}$  ではその値が 0.5 を越える。しかも、その値は周期が長くなるにつれて漸減し、 $T > 2 \text{ hours}$  では異常は消失する。GIORGI and YOKOYAMA はこの異常を海峡に誘導電流が集中することによる“海峡効果”と考えた。これとよく似た津軽海峡の異常も“海峡効果”と思われるが、以下でそれを検討する。

津軽海峡は太平洋と日本海を結ぶ唯一の水路で、幅は 20~50 km、長さは約 100 km、水深は海峡中心部で 200~400 m である。II-2 において指摘したように、津軽海峡兩岸の観測点、TOI (北海道) と OMA (青森県) では I. V. が向きあっている (Figs. 17, 18)。 $T = 5 \text{ min.}$  では、海峡北岸の OTB の I. V. も TOI の I. V. と平行に海峡を向いている (Fig. 17)。しかし、 $T = 60 \text{ min.}$  では OTB の I. V. は海峡に平行である (Fig. 18)。海峡から約 15 km 離れた NNE の I. V. は周期にかかわらず北を向いている (Figs 17, 18)。このような津軽海峡の異常は海峡の大きさから判断して、明らかに海峡部分だけの誘導電流では説明できない。しかし異常の形状から、II-2 において指摘したように、津軽海峡が原因と考えられる。従って、太平洋および日本海に誘導された電流が海峡に集中することによって起こる異常、“海峡効果”と考えるべきであろう。これを次に述べる簡単な計算によって定量的に考察してみよう。

海峡を Fig. 21 のような多角形の断面を持った無限に長い水路と考える。その断面に一律な密度の電流を流し、Biot-Savart の法則を用いて海峡の両側にできる磁場を、以下に述べる方法で計算する。その結果を観測結果と比較する。

Biot-Savart の法則は二次元断面について

$$\mathbf{H} = \iint \frac{\mathbf{j}}{2\pi r^2} \times \mathbf{r} \, dx \, dz. \quad (\mathbf{j} : \text{電流密度})$$

と書かれる。水平成分を  $H_x$ 、鉛直成分を  $H_z$  とし、 $x$  軸を右向き  $z$  軸を下向きにとると、 $(x_0, 0)$  での各成分の値は

$$\begin{aligned} &= \iint \frac{j}{2\pi r} \cdot \frac{z}{r} \, dx \, dz, \\ &= \iint \frac{j}{2\pi r} \cdot \frac{x_0 - x}{r} \, dx \, dz, \end{aligned}$$

ただし

$$r = \{(x_0 - x)^2 + z^2\}^{\frac{1}{2}}.$$

一方、多角形で近似された断面は長方形と直角三角形に分割されるから、それぞれについて  $H_x$ ,  $H_z$  を計算する式が必要となる。

(1) 長方形の場合

頂点の座標を  $(x_1, z_1)$ ,  $(x_2, z_1)$ ,  $(x_2, z_2)$ ,  $(x_1, z_2)$  とする。ただし,  $x_1 < x_2$ ,  $z_1 < z_2$  である。このとき各成分は

$$H_x = U(x_2) - U(x_1),$$

$$H_z = V(z_2) - V(z_1),$$

ここで

$$U(x_i) = -\frac{j}{4\pi} \cdot \left[ (x_0 - x_i) \cdot \log_e \frac{\{(x_0 - x_i)^2 + z_2^2\}}{\{(x_0 - x_i)^2 + z_1^2\}} \right. \\ \left. + 2 \left\{ |z_2| \cdot \tan^{-1} \left( \frac{x_0 - x_i}{|z_2|} \right) - |z_1| \cdot \tan^{-1} \left( \frac{x_0 - x_i}{|z_1|} \right) \right\} \right],$$

$$V(z_i) = -\frac{j}{4\pi} \cdot \left[ z_i \cdot \log_e \frac{\{(x_0 - x_2)^2 + z_i^2\}}{\{(x_0 - x_1)^2 + z_i^2\}} \right. \\ \left. + 2 \left\{ |x_0 - x_2| \cdot \tan^{-1} \left( \frac{z_i}{|x_0 - x_2|} \right) - |x_0 - x_1| \cdot \tan^{-1} \left( \frac{z_i}{|x_0 - x_1|} \right) \right\} \right].$$

(2) 直角三角形の場合

必要なのは斜辺が下側にある直角三角形についての式である。その直角三角形の頂点の座標を  $(x_1, z_1)$ ,  $(x_2, z_1)$ ,  $(x_k, z_2)$  とする。ただし,  $k$  は 1 または 2 をとる。この時, 各成分は

$$H_x = P(x_m) - P(x_n),$$

$$H_z = Q(z_2) - Q(z_1),$$

ここで

$$m = k, n = k + (-1)^{k+1}.$$

また

$$P(x_i) = (-1)^n \cdot \frac{j}{4\pi} \cdot \left[ (x_0 - x_i) \cdot \left\{ \log_e \left[ (x_0 - x_i)^2 + z_2^2 \right] - 2 \right\} \right. \\ \left. - 2 \cdot |z_2| \cdot \tan^{-1} \left( \frac{x_0 - x_i}{|z_2|} \right) \right. \\ \left. - (x_0 - x_i - W_5) \left\{ \log_e \left[ W_1 \cdot (x_0 - W_5 - x_i)^2 + W_4 \right] - 2 \right\} \right. \\ \left. - 2 \cdot \left( \frac{W_4}{W_1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \tan^{-1} \left\{ \left( \frac{W_1}{W_4} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (x_0 - W_5 - x_i) \right\} \right],$$

$$Q(z_i) = (-1)^n \cdot \frac{j}{4\pi} \cdot \left[ z_i \cdot \left\{ \log_e \left[ z_i^2 + (x_0 - x_m)^2 \right] - 2 \right\} \right. \\ \left. + 2 \cdot |x_0 - x_m| \cdot \tan^{-1} \left( \frac{z_i}{|x_0 - x_m|} \right) \right. \\ \left. - (z_i - W_3) \cdot \left\{ \log_e \left[ W_2 \cdot (z_i - W_3)^2 + W_4 \right] - 2 \right\} \right. \\ \left. - 2 \cdot \left( \frac{W_4}{W_2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \tan^{-1} \left\{ \left( \frac{W_2}{W_4} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (z_i - W_3) \right\} \right].$$

ただし

$$W_1 = 1 + \left( \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \right)^2,$$

$$W_2 = W_1 / \left( \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \right)^2,$$

$$W_3 = \left\{ \left( \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \right) \cdot (-1)^{k+1} \cdot (x_0 - x_k) + z_2 \right\} / W_1,$$

$$W_4 = \left( \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \right) \cdot (-1)^{k+1} \cdot (x_0 - x_k) + z_2 \cdot W_3,$$

$$W_5 = W_3 \cdot \left( \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \right) \cdot (-1)^{k+1}.$$

TOI と OMA については、Fig. 21 に示すような平均断面を海図から得た。これを長方形と直角三角形とに分割し、それぞれによって作られる  $H_x$  と  $H_z$  を計算した。それらの和として計算される磁場の水平成分 ( $\Delta H$ ) と鉛直成分 ( $\Delta Z$ ) との絶対値を、海峡岸からの距離に対して示したのが Fig. 22 である。OMA は海峡岸から約 1 km、TOI は約 300 m にあることを考慮すれば、計算された  $\overline{\Delta Z}$  は、 $T = 5$  min. についての I. V. の大きさとよく対応している。Fig. 22 から計算された  $\overline{\Delta H}$  は小さくて問題とならないことがわかる。

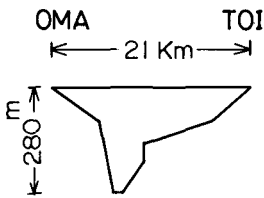


Fig. 21 Cross section of the Tsugaru Straits between TOI and OMA.

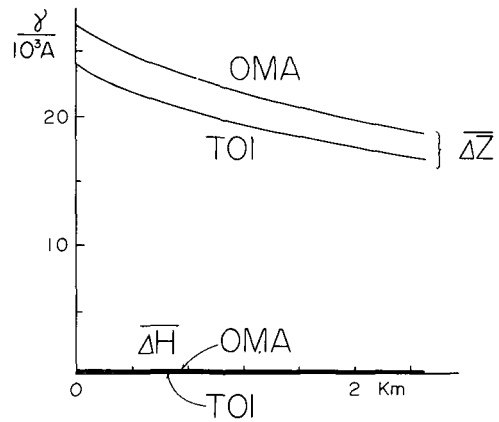


Fig. 22  $\Delta Z$  and  $\Delta H$  to be produced by the concentrated currents near the Tsugaru Straits along the cross section shown in Fig. 21. Total currents are assumed to be  $10^3$  Amp.

OTB については、海図から読みとられた平均的な津軽海峡の断面 (Fig. 23) を用いて、OMA と TOI とについて同様にして計算した。ただし、この海峡断面を流れる電流の総量は、OMA と TOI との断面を流れるそれと同じとした。計算は  $\overline{\Delta Z}$  についてのみ行い、TOI の結果と併せて Figs. 24, 25 に示した。Fig. 24 は海峡岸から 2.5 km まで、

Fig. 25 は 62.5 km までのものである。OTB は海峡岸から約 400 m の所にある。これを考慮して、TOI と OTB の  $T = 5 \text{ min.}$  についての観測結果と比較するとよく合致している。

NNE については、海峡岸から約 15 km 離れているので前述のどちらの断面を用いても、Fig. 25 からわかるように、海峡岸の観測点に比べて計算された  $\overline{\Delta Z}$  は十分に小さく、観測結果と矛盾しない。

以上のことから  $T = 5 \text{ min.}$  程度の変化に対しては、外海で誘導され海峡に集中する電流の効果、“誘導-伝導”効果を考えれば説明できる。しかし、 $T = 60 \text{ min.}$  程度の変化については、津軽海峡兩岸で I. V. の大き

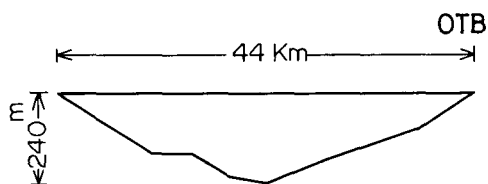


Fig. 23 Cross section of the Tsugaru Straits passing OTB.

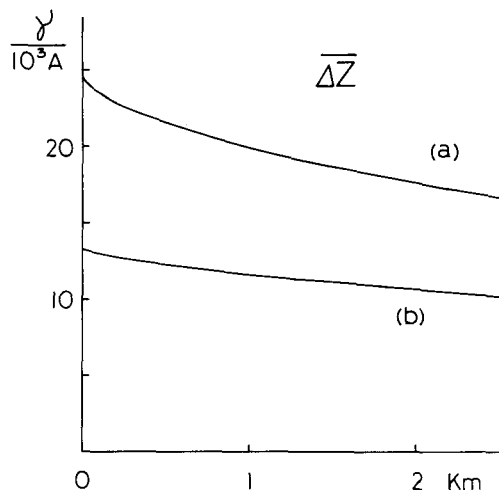


Fig. 24  $\Delta Z$  to be produced by the concentrated currents near the Tsugaru Straits along the two cross sections; (a) TOI-OMA cross section (Fig. 21), (b) OTB cross section (Fig. 23). Total currents are assumed to be  $10^3 \text{ Amp.}$

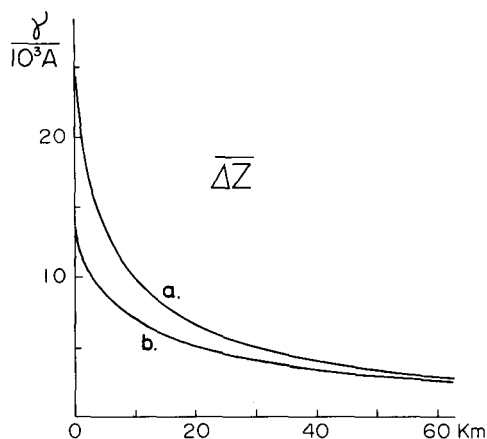


Fig. 25  $\Delta Z$  to be produced by the concentrated currents at 62.5 km distant from the shore of the Tsugaru Straits. Total currents are assumed to be  $10^3 \text{ Amp.}$  (a) TOI-OMA cross section (Fig. 21), (b) OTB cross section (Fig. 23).

さがかなり異なっていること、OTBのI.V.が海峡に平行であることから、“海峡効果”だけでは説明できない。これは $T=60\text{ min.}$ 程度では、地磁気変化の表皮厚さ(skin depth)が大きくなり、地下深部の影響が効いてくるためと思われる。すなわち、周期が長くなると地下深部の効果が大きくなり、“海峡効果”がある程度減少する。従って、これらが相乗的に作用するOMAではI.V.の周期による違いは小さく、逆向きに作用するTOIやOTBではI.V.の、前述のような、周期による違いが起こるのであろう。

### III-2 堆積層および地峡の効果

北ドイツでの観測によれば、厚い堆積層とC.A.とがよく対応している(UNTIEDT, 1970)。SCHUMUCKER(1970)はこの異常の広がり、堆積層との対応などから、北海に誘導された電流が堆積層へ流れこむことによる異常と考えた。このように海につながった厚い堆積層は、III-1で述べた海峡のように、“誘導-伝導”効果により、地磁気変化異常の原因となりうる。

北海道南西部の北東に接する石狩低地帯は厚さ数kmの堆積層からなり、太平洋と日本海とをほぼ南北に結んでいる。Fig. 17に示されるように、石狩低地帯の西側に位置するSMRとSAPとの2観測点における $T=5\text{ min.}$ のI.V.は低地帯を向いている。しかし、Fig. 18に見られるように、 $T=60\text{ min.}$ のI.V.は低地帯の方には向かない。また、KMOのI.V.は周期にかかわらず、低地帯には向かない。このような石狩低地帯付近で観測される地磁気短周期変化の異常は津軽海峡についてと同様に、低地帯の大きさから低地帯内の電磁誘導では説明できない。そのため、北ドイツの場合のように、“誘導-伝導”効果による異常と考えるべきである。南北の走向を持つ石狩低地帯においては、東西方向の地磁気変化に際して、“誘導-伝導”効果は最も大きくなるので、 $T=5\text{ min.}$ のI.V.の向きはこの効果で説明される。 $T=60\text{ min.}$ のI.V.については、III-1の場合と同様に地下深部の効果が効いてくるためと思われる。

石狩低地帯についても、津軽海峡と同様な計算が可能である。しかも、電流の直上での観測を行えば、低地帯を流れる電流の量も推定できる。NISHIDA(1976)は、そのような計算と他の資料とから、 $T\approx 5\text{ min.}$ の変化については低地帯の効果だけで、 $T\approx 60\text{ min.}$ の変化については半分を低地帯の効果で説明できるとしている。

Fig. 26からわかるように、本地域の中部は地峡になっている。この部分にはFig. 26に示すように、OTS, YKM, PRK, WRBの4観測点がある。Fig. 19aに見られるように、 $T=5\text{ min.}$ のI.V.の南北成分について、OTSとYKMとの間、およびYKMとPRKとの間に逆転が見られる。前者の逆転は相対する向きであり、後者ののは相反する向きである。従って、OTSとYKMとの間には“誘導-伝導”電流の集中があると考えられ、YKMとPRKの間にはそれがないと思われる。

### III-3 高地殻熱流量の効果

地殻熱流量の大きな地域では、一般に比較的浅所に高温な部分があると考えられている。また、実験により、岩石の電気伝導度は温度の上昇とともに急激に増大し、溶融が起これば $10^2$ 倍ほど大きくなることが知られている。これらのことから、地殻熱流量の大きな地域では、比較的浅所に

電気伝導度の大きい部分があることになる。浅所の電気伝導度の大きい地域では、短い周期（十数分以下）変化の  $\Delta Z$  は小さく、その周辺では I. V. は電気伝導度の大きい物体の方を向きかつ大きな絶対値を持つ。

上田 (1968) によれば、熱伝導度として  $8 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{deg} \cdot \text{sec}$  を用いると、 $10^{-12} \text{ e.m.u.}$  の電気伝導度を持った物体が 50 km 深にある場合に観測される地殻熱流量は 2 HFU, 20 km 深とすれば 5 HFU となる。従って、2 HFU では 50 km 深に、5 HFU では 20 km 深に導体が存在することになる。

高地殻熱流量に起源を持つ C. A. 地域としては、Iceland (HERMANCE and GARLAND, 1968), Baikal 湖周辺 (VANJAN and KHARIN, 1967) などがあり、これらの地域の地殻熱流量はそれぞれ約 4 HFU (SIGURGEIRSSON, 1970), 約 2 HFU (LUBIMOVA, 1966) である。

江原・横山(1971), 江原 (1974) によれば、北海道南西部は全域が 2 HFU を越える高熱流量地域に属し、洞爺湖, 羊蹄山などを含む地域は 4 HFU を越す特に高い地殻熱流量を示す (Fig. 27)。従って、本地域では短周期変化の  $\Delta Z$  が小さいことが予想された。そして、現在までの観測では、II で述べたように、NNE, KMG, OTS, KNB, KMO の各点において、 $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  の短い周期での減少傾向が見られる (Figs. 5a, 7a, 8a, 12a, 13a)。これら 5 点のうち、後の 2 点は 4 HFU 以上の領域に属するが、前の 3 点は 2 HFU 以上の領域にある。従って、短い周期における  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  の減少傾向は 4 HFU 以上の領域に固有のものではない。また、津軽海峡や石狩低地帯の影響が顕著であると思われる OMA, TOI, OTB, SMR, SAP の各点、および内浦湾の入口の海岸に位置し、内浦湾へ流れこむ電流の影響が大きいと思われる USJ の計 6 点を除いた、他の 4 点での、短い周期における  $\overline{\Delta Z} / \Delta R$  の減少傾向はない (WRB, KRR), あるいは、存在しても  $T = 5$

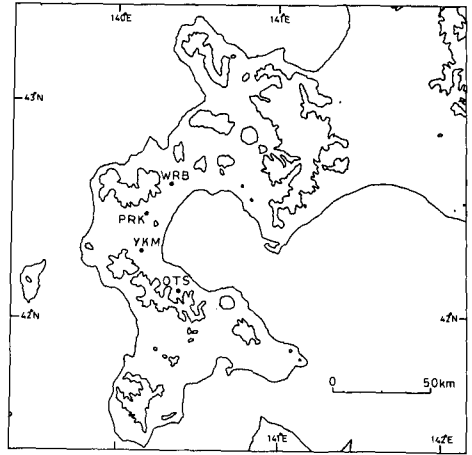


Fig. 26 500-meter contours in the southwestern part of Hokkaido.

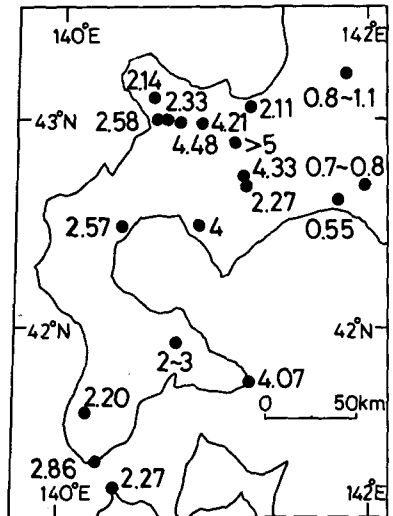


Fig. 27 Distribution of terrestrial heat flow in the southwestern part of Hokkaido. Unit is HFU. (after EHARA 1974)

min. で  $\sqrt{A^2+B^2}$  が 0.4 以上 (YKM, PRK) である。従って、短い周期における  $\overline{\Delta Z}/\Delta R$  の減少傾向は 2 HFU 以上の領域の特徴とは言えない。ゆえに、前記 5 観測点における短い周期での減少傾向は浅所に導体の存在を暗示するが、地殻熱流量と結びつけられるかどうかは結論できない。しかし、変換関数など他の解析方法を用いることによって、さらに詳細な議論を行えば、地殻熱流量との何らかの関係が得られるかもしれない。これは今後の問題とする。

#### IV. おわりに

北海道南西部における地磁気短周期変化の異常から、この地域の地殻深部の C.A. の議論に進む前提として、本報文では地殻表層部の効果を議論した。その予備的結果をまとめると次のようである：

##### 1) 津軽海峡の効果

この海峡は、日本列島の中で太平洋から日本海へ東西に通ずる唯一のものである。海峡の両岸において、I.V. が相対していること、短周期変化ほど  $\Delta Z$  の異常が著しいこと、また両岸における変化磁場の大きさの分布が、海峡を東西に流れる電流によって説明可能なことから、この海峡の両岸において観測される異常の大部分が、“誘導—伝導”効果、すなわち、集中電流に起因する“海峡効果”であることは確実である。

##### 2) 堆積層および地峡の効果

石狩低地帯の西側で、短周期変化に際して観測される異常 ( $T = 5$  min. の I.V. が東を向く) は厚い堆積層におおわれる石狩低地帯を南北に流れる集中電流によるものであろう。すなわち、同じく“誘導—伝導”効果であるが、前記の津軽海峡のそれに較べると、著しいものではない。

渡島半島の YKM と OTS との間に、小規模ながら“誘導—伝導”効果が認められる。この地域は内浦湾と日本海により幅約 30 km と狭められ地峡をなしている。しかし、上記 2 地点以外では“誘導—伝導”効果は認められない。2つの海の間距離よりも、堆積層の存在が伝導に影響を与えるものと考えられる。

##### 3) 高地殻熱流量の効果

本地域は全域が 2 HFU を越える高熱流量地域であるが、前述の(1)、(2)の効果が小さいとみなされる地域においては、高地殻熱流量に起因する異常(短い周期の変化の  $\Delta Z$  の振幅が小さい)が見出される地点 (KNB, KMO, NNE, KMG, OTS) と、見出されない地点 (YKM, PRK, KRR) とがある。従って、現在のところでは、地磁気短周期変化と地殻熱流量との間の明瞭な関係は未確認と言わざるを得ない。

今後、地殻深部の C.A. の議論に進む予定である。なお、本地域の I.V. の地域的向き (北西) に関する解釈をするためには、本地域周辺の観測資料の集積を待たねばならない。

## 謝 辞

地磁気および地電位差変化の観測装置の保守はすべて各地域の小、中学校にお願いした。多忙な本務にもかかわらず、観測遂行に御協力いただいた小、中学校の教職員各位に深甚なる謝意を表します。

本研究に要した費用の一部はGDP研究費によってまかなわれた。

なお、計算は北海道大学大型計算機センターのFACOM 230-60 および75によった。

## 文 献

- 江原幸雄・横山泉, 1971. 北海道における地殻熱流量の測定(その2). 北海道大学地球物理学研究報告, **26**, 67-84.
- 江原幸雄, 1974. 地殻熱流量からみた北海道及びその周辺の地殻・上部マントルの熱的構造. 北海道大学地球物理学研究報告, **31**, 33-48.
- GIORGI, M. and I. YOKOYAMA, 1968. Anomalies of geomagnetic variations observed at Maddalena Island, Sardinia, and their probable causes. *Quaderni de la ricerca scientifica*, No. 44.
- HERMANCE, J. F. and G. D. GARLAND, 1968. Deep electrical structure under Iceland. *J. Geophys. Res.*, **73**, 3797-3800.
- KATO, Y., M. DAGUCHI and T. ARUGA, 1971. Northeastern Japan anomaly of the upper mantle. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, **21**, 19-35.
- LUBIMOVA, E. A., 1966. On construction of temperature profiles for the earth's crust and reduction of seismic ambiguity. *J. Phys. Earth*, **14**, 27-36.
- NISHIDA, Y., 1976. Conductivity anomalies in the southern-half of Hokkaido, Japan. (in preparation).
- RIKITAKE, T. and I. YOKOYAMA, 1955. The anomalous behaviour of geomagnetic variations of short period in Japan and its relation to the subterranean structure. The 6th report. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **33**, 297-331.
- SCHUMUCKER, U., 1970. An Introduction to induction anomalies. *J. Geomag. Geoelect.*, **22**, 9-33.
- SIGURGEIRSSON, T., 1970. A survey of geophysical research related to crustal and upper mantle structure in Iceland. *J. Geomag. Geoelect.*, **22**, 213-221.
- 上田誠也, 1968. C. A. と地殻熱流量. Conductivity anomaly symposium 講演集, 東京大学地震研究所, 153-166.
- UNTIEDT, J., 1970. Conductivity anomalies in central and southern Europe. *J. Geomag. Geoelect.*, **22**, 131-149.
- VANJAN, L. L. L. and E. P. KHARIN, 1967. Deep magnetic variation sounding in Baikal region. Regional geophysical investigation in Siberia, Izdat. Nauka, Novosibirsk (in Russian).