



Title	マグネトテルリック法から推定される日高変成帯南部域の比抵抗構造
Author(s)	佐藤, 秀幸; SATOH, Hideyuki; 西田, 泰典 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 61, 59-68
Issue Date	1998-03-20
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.61.59">https://doi.org/10.14943/gbhu.61.59</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14259">https://hdl.handle.net/2115/14259</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	61_p59-68.pdf



## マグネトテルリック法から推定される日高変成帯南部域の比抵抗構造

佐藤 秀幸・西田 泰典・宇津木 充・平野 和幸  
土井 剛・在田 一則

北海道大学理学研究科地球惑星科学専攻

(1997年12月24日受理)

### Resistivity Structure in and around the Southern Part of Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido, as Inferred from Magnetotelluric Investigation

Hideyuki SATOH, Yasunori NISHIDA, Mitsuru UTSUGI,  
Kazuyuki HIRANO, Tsuyoshi DOI and Kazunori ARITA

Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received December 24, 1997)

Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido, Japan, is thought to be formed by collisional orogenic processes. On August and September 1995, a magnetotelluric (MT) investigation was carried out in order to clarify the upper to middle crustal resistivity structure in and around the southern part of Hidaka Metamorphic Belt. The MT stations were established along the measurement line perpendicular to the strike direction of Hidaka Metamorphic Belt. A regional electrical strike N9°W, which is consistent with the strike of the surface geology, was derived from rotation of impedance tensors. Two-dimensional resistivity models were constructed by inversion method including static shift correction (Ogawa and Uchida, 1996).

According to the resistivity distribution, the surveyed area can be divided into four regions: Sorachi-Yezo Belt ( $10-100\Omega\cdot m$ ), Iton'napu Belt ( $10-1000\Omega\cdot m$ ), Hidaka Metamorphic Belt ( $10000\Omega\cdot m$ ) and Nakanogawa formation group in Hidaka Belt ( $100-1000\Omega\cdot m$ ). The highly resistive Hidaka Metamorphic Belt, which is intercalated by a relatively conductive layer ( $1000\Omega\cdot m$ ), dips for east. The intercalated conductive layer is possibly consistent of degenerated part of highly resistive Hidaka Metamorphic Belt. It is also possible that strong seismic reflector revealed by vibroseis experiment (Arita et al., 1997) is cutting across the Hidaka metamorphic rocks, rather than an indicator of the material boundary between Iton'napu Belt and Hidaka Metamorphic Belt.

### I. はじめに

北海道中央部に位置する日高山脈は、日高支庁および十勝支庁の行政界をなす脊梁山脈でエゾ山系の一部を構成する、南北約150 km、東西約20~30 kmの幅を持つ地域である。

この日高山脈を中心に分布する日高変成帯は古くから精力的に地質調査が行なわれてきた。Minato

et al.(1965)は、日高変成帯をジュラ紀以降の北海道の地向斜-造山運動の中軸と位置づけ、ヨーロッパなどにおける造山運動論に基づいた考え方をしている。しかし、小松ほか(1979)によってプレートテクトニクスを背景とした新たな構造論が提唱されて以来、日高変成帯は、ジュラ紀末~白亜紀末の2つの島弧-海溝系の形成と、白亜紀末~第三紀にかけて起こった両者の衝突によって形成されたと考えられるようになった。そして、この衝突の結果として現在、地表には大陸性の地殻が深部から浅部まで連続的に露出し、見られるようになった。

ところで、日高変成帯およびその周辺は、衝突帯の形成プロセスそして島弧および大陸地殻形成の解明を目的として、地質学的研究に加えていくつかの地球物理学的な研究(例えば、森谷ほか, 1994, 丸山ほか, 1991, Ogawa et al., 1994) も行なわれてきた。

しかし、より定量的な衝突帯のダイナミクスについて議論を進めてゆくためには、地殻深部構造についての詳細な情報を得る必要が生じてきた。そこで、在田(1996)は従来資源探査を目的として使用されてきた反射法地震探査を用いて、日高主衝上断層は強い反射面として検出されること、地表では急峻であるのに対して地下数 km では約  $40^\circ$  と緩くなり日高山脈線東側では約 7 km の深さに位置することを報告し、日高主衝上断層の地下形態をほぼ明らかにした。また、Ogawa et al.(1994)は、日高変成帯を北緯  $43^\circ$  付近をほぼ東西に横断する測線で比抵抗構造調査を行ない、日高変成帯内は全体的に高比抵抗値を示すが均質ではなく、深さ 2 - 5 km に低比抵抗層 ( $500-1000 \Omega \cdot m$ ) を挟む形態を示しているとの報告をしている。

本研究は比抵抗構造から見た日高変成帯南部域の深部構造を把握することを大きなテーマとし、(1)在田(1996)で報告された地震波の反射面との比較、(2)日高変成帯南部地域における Ogawa et al.(1994)の提唱したモデルとの相違について比較することを研究目的とした。比抵抗推定には、Very Low Frequency(VLF)、Extremely Low Frequency(ELF)、Ultra Low Frequency(ULF)帯の波長を用いた地磁気地電流法(Magnetotelluric method: MT)を用いた。

## II. 日高山脈およびその周辺のテクトニクスと地質概説

ここでは、日高変成帯およびその周辺のテクトニクスおよび調査地域の地質構造について簡単に述べる。なお、本報告では Arita et al.(1997)による地帯構造区分を用いる。

北海道の中・古生界の地質構造は、西部の渡島半島から東部の根室半島まで広く分布し、基本的には南北方向の帯上配列を示している。特に中央部に着目すると大きく、空知-エゾ帯、イドンナップ帯、日高帯および常呂帯に区分することができ (Fig. 1)、主に白亜紀から古第三紀の西向き沈み込みに伴う付加帯から構成されている(君波ほか, 1986)。さらに日高山脈南部域は、イドンナップ帯、幌尻オフィオライト帯および日高変成帯(これらの帯をまとめて日高衝突帯という)から構成されている (Fig. 2)。この衝突帯は、古第三紀から始まるユーラシアプレートとオホーツクプレートの斜め衝突による古日高島弧(日高変成帯)とかつての海洋プレート(幌尻オフィオライト帯)の衝突、さらに後期中新世以降に西進する千島外弧の東北日本への衝突による影響を受けて、形成されたと解釈されている (Kimura, 1986)。これらの構造運動の後に現在、日高山脈ではかつての島弧地殻を示す日高変成帯が、かつての海洋性地殻である幌尻オフィオライト帯に日高主衝上断層を境にして衝上している様子が地表で観察できる。

本調査地域は地質学的に西から東に向かって、イドンナップ帯、幌尻オフィオライト帯、日高変成帯および中の川層群帯の4帯に大別される (Fig. 3)。ここでは各帯の特徴について述べる。イドンナップ帯は構成岩相とその分布様式から、緑色岩優勢のナイ沢コンプレックス(前期白亜紀の前弧海盆の

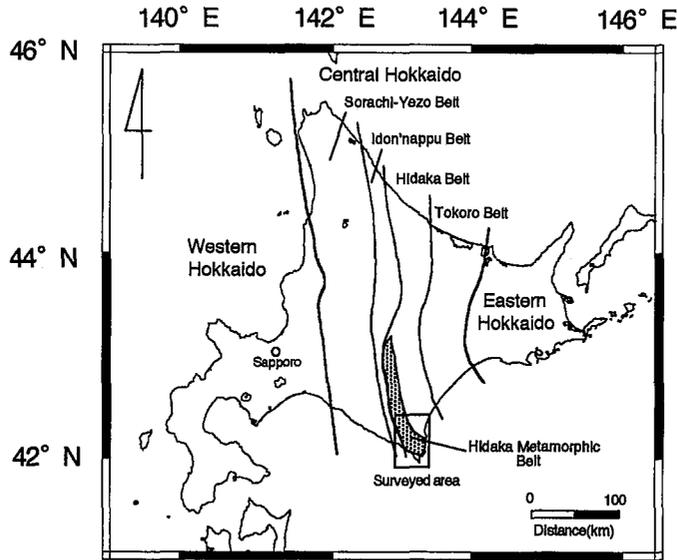


Fig. 1. Tectonic divisions of Hokkaido (after Arita et al., 1997). Shaded area indicates Hidaka Metamorphic Belt. Rectangular part is the surveyed area in this study.

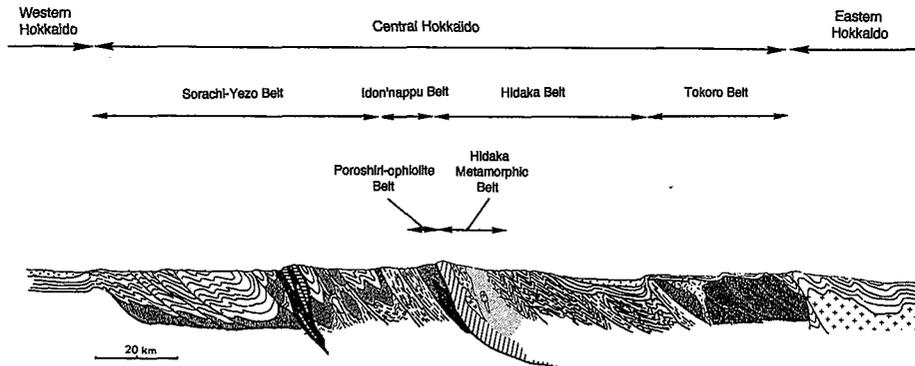
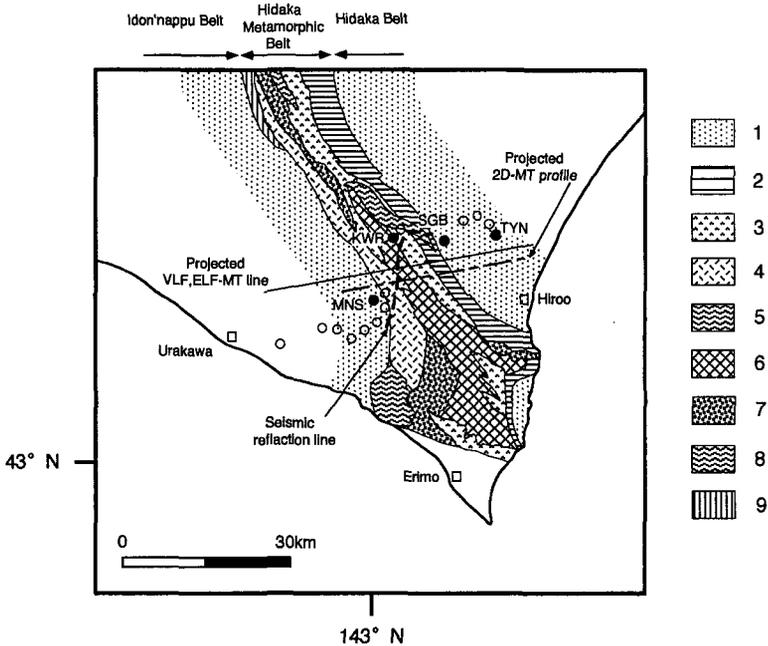


Fig. 2. Typical geologic EW profile across Hidaka Metamorphic Belt (after Kimura, 1986).

オフィオライトと海山断片、陸源性碎屑岩の構造的混合帯)と碎屑岩優勢の幌別川コンプレックス(後期白亜紀-暁新世の付加帯、海山、海溝側斜面海盆堆積物)から構成されている(植田, 1995)。ともに層理面は北西-南東走向で急立し、堆積構造は西上位を示す。なお、本地域西側では礫岩、砂岩およびシルト岩からなる上杉白層と接している。幌尻オフィオライト帯は日高山脈南部では、日高主衝上断層に沿って部分的に見られるのみであり分布域は極めて狭い。日高変成帯は西から東へ、マイロナイト帯、閃緑岩およびはんれい岩帯、トータル岩帯、黒雲母片麻岩帯および黒雲母-白雲母片岩帯からなる。マイロナイト帯の原岩は日高島弧の下部地殻を構成していたグラニュライト相であるが、全体的に強くマイロナイト化している。特に日高主衝上断層付近は著しい。つまり、変成度は西側のグラニュライト相から東側の緑色片岩相へと低下している。また、東側に分布する中の川層群とは漸移関係を示している。中の川層群帯は白亜紀-古第三紀前弧堆積物であり、緻密な砂泥互層から構成され、一般に層理に乏しく石灰質ノジュールを含む。また、層理面は一般に急立し、褶曲や断層によつ



**Fig. 3.** Location map of magnetotelluric(MT) measurement sites and simplified geological map of southern part of Hidaka Metamorphic Belt (Editorial Committee of Hokkaido, part 1 of Regional Geology of Japan, 1990). Open circles show ELF-MT sites where solid circles show ULF-MT sites. Number in the figure describe rock facies ; 1 : Cretaceous, 2 : Hornfels, 3 : Biotite-muscovite gneiss and schist, 4 : Amphibole-biotite gneiss, amphibolite and granulite, 5 : Granite, 6 : Tonalite, 7 : Gabbro and diorite, 8 : Peridotite 9 : Metaophiolite of the Poroshiri-ophiolite zone

て複雑な構造を呈している。

### III. 観測及びデータ処理

Fig. 3 に調査地域周辺の地質図に MT 観測点分布を重ねて示した。野塚トンネルやいくつかのトンネルの存在、地形的に険しいこと、日高側にはトンネル工事用高压送電線が走っていたことから観測点の選定にはかなり制約を受けた。測線は在田(1996)の反射法地震探査の測線を覆うように、そして日高変成帯を東西に横断して約 42 km とった。数日間の工事休止のタイミングをみはからって実施した VLF, ELF 帯の測定はそれぞれ 58 点, 16 点である。また、工事期間中に実施せざるを得なかった ULF 帯の測定は 4 点にとどまった。

ところで、MT 法は時間変動している自然の電場および磁場を測定し、その解析から地下の比抵抗分布を明らかにする方法である。地球外部に起因する磁場が大地に透入すると、電場および 2 次磁場が誘導される。これらの各成分を測定し解析することにより、地下の電気伝導度構造を得ることができる。観測した成分は磁場 2 成分 ( $H_x$ ,  $H_y$ ) および電場 2 成分 ( $E_x$ ,  $E_y$ ) である (ただし、 $x$  は北向き、 $y$  は東向き)。電場、磁場および見掛け比抵抗の関係は以下の式で結び付けられる (Cagniard, 1953)。

$$\rho_a = 0.2 \cdot T \cdot \left| \frac{E}{H} \right|^2$$

ここで、 $\rho_a$  は見掛け比抵抗 ( $\Omega \cdot m$ )、T は電磁波の周期(sec)、E は誘導される電場(mV/km)、H は磁場変化の大きさ(nT)である。また、信号源である電磁波は自然または人工的な電磁波でも地中に透入すると指数関数的に減衰し、この減衰の程度は地下の比抵抗と電磁波の周期に依存する。Cagniard (1953)は電磁波の振幅が地表面の値の  $1/e$ (約37%)まで減衰する深さを表皮深度(skin depth)と呼び次の式を導いている。

$$\delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_a}{f}}$$

ここで、 $\delta$  は表皮深度(m)、 $\rho_a$  は見掛け比抵抗、f は周波数(Hz)である。例えば、大地が均質  $100 \cdot m$  であるとすれば、ULF 帯の周波数 0.01 Hz に対する表皮深度は約 50 km である。つまりこの式は、信号源として用いる電磁波の波長が地下の比抵抗構造を把握する上で重要であることを示している。

データ取得には、ULF 帯はフラックスゲート型磁力計 (U 36: テラテクニカ社製)、ELF 帯および VLF 帯にはインダクション型磁力計 (EL-529: テラテクニカ社製、VL-101: テラテクニカ社製) を用いた。また、電場計測にはそれぞれ、銅-硫酸銅電極と銅電極を使用した。データのサンプリングは、ULF 帯が 1 Hz、ELF 帯は 128 Hz で取得した。ELF 帯のデータにはノイズが少なく良好な観測波形が得られたので、フィルター処理を施さずに解析に使用した。ULF 帯のデータは場所によって電場成分に高周波のノイズが見られたのでハイカットフィルター(カットオフ周波数 0.05 Hz)を用いてフィルター処理(斎藤, 1978)を施した後の波形をデータ処理に使用した。なお、Fig. 4 には 2 観測点で同時刻に得られた、観測波形の一例を示す。KWR、SGB の磁場の振幅はほぼ同じであるのに対して、KWR の電場の振幅は極めて大きい。このことから変成帯中央部の KWR の見掛け比抵抗は極めて高いことが推定できる。データ処理は周波数領域においてインピーダンステンソルを計算し、それら

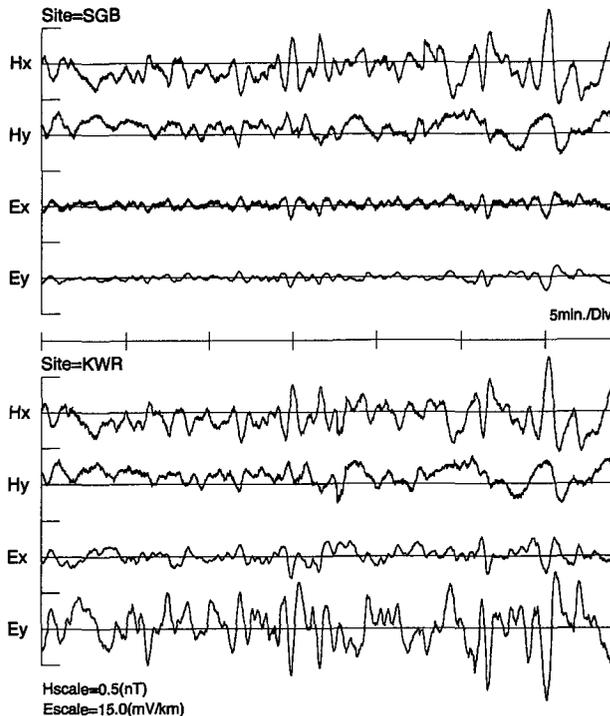


Fig. 4. Example of magnetic(Hx, Hy) and electric fields(Ex, Ey) ULF band records obtained at SGB and KWR simultaneously.

ら周波数に対する見掛け比抵抗および位相差を算出した。

#### IV. 2次元構造解析

得られた処理結果に基づいて2次元地下比抵抗構造を推定した。今の場合、構造の走向方向を推定するにあたっては、浅部から深部まで一様な走向を持った構造であると仮定し、8 Hzでの回転角を各観測点毎に求めその平均値を採用した。Fig. 5にULF観測点における8 Hzの回転角の頻度分布図を示す。変成帯中央部付近ではほぼ南北方向の走向であるが、東側では北東-南西方向のトレンドが見られる。なお、平均値はN9°Wである。従って、N9°Wに走向を持つ2次元構造を仮定し、ELF、ULF帯の測定を実施した4観測点の見掛け比抵抗及び位相差のデータを用いて、比抵抗構造解析を行った。モデル計算にはOgawa and Uchida(1996)による逆解析法を用いた。なお、この際に初期モデルを均質大地 $100 \Omega \cdot m$ とし反復計算を行なったところ、10回の反復でほぼ最終的なモデル構造が得られた。ただし、本測線の延長上に分布する海の比抵抗は $0.25 \Omega \cdot m$ とあらかじめ固定してある。Fig. 6.(a)および(b)に、TMモードの見掛け比抵抗および位相差と、そのデータをもっとも良く説明できる比抵抗モデルを示した。なお、見掛け比抵抗および位相差ともに、TEモードがTMモードに比較してエラーバーが大きい。この原因のひとつは、観測域がえりも岬に近い半島効果による伝導電流の影響が大きいことが考えられる。従って、Ogawa et al.(1994)と同様にTMモードの観測値に重みをおいて構造を求めた。

#### V. 結果および考察

Fig. 7には日高変成帯の走向に直交する測線を想定し(Fig. 3)、それに投影した位置におけるVLF( $22.2 \times 10^3 \text{ Hz}$ )、ELF(8, 14, 20 Hz)帯の見掛け比抵抗と位相差を示す。比抵抗分布から本調査地域は大きく、空知-エゾ帯( $10-100 \Omega \cdot m$ )、イドンナップ帯( $10-1000 \Omega \cdot m$ )、日高変成帯( $10000 \Omega \cdot m$ )

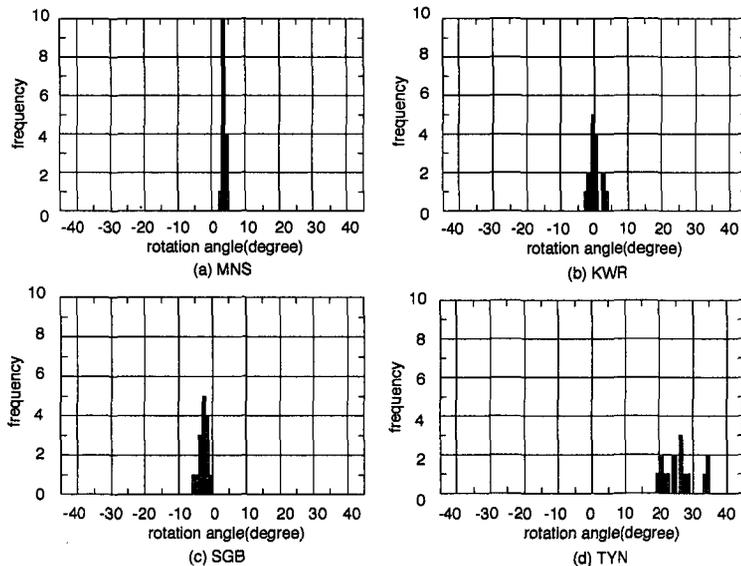


Fig. 5. Histograms of rotation angle, which indicate the strike direction of Hidaka Metamorphic Belt, at 8 Hz(a) MNS, (b) KWR, (c) SGB, (d) TYN)

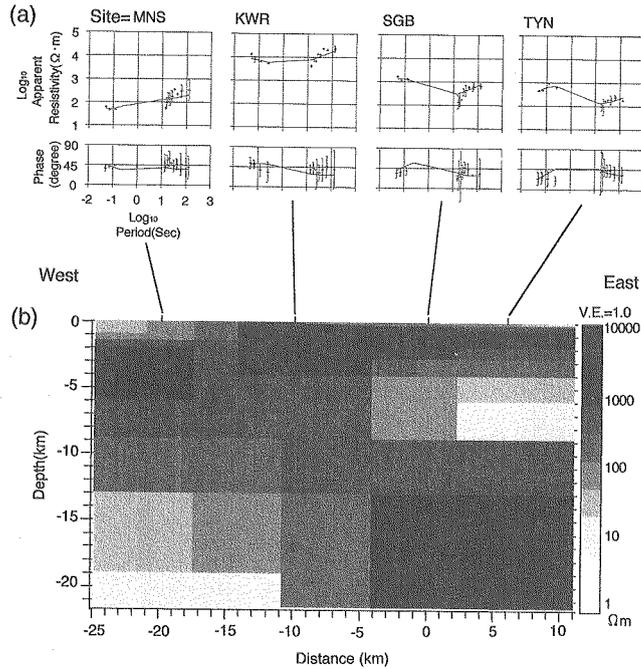


Fig. 6. (a) Apparent resistivity and phase data set for four sites. Plus  $[+]$  signs with error bars represent TM mode data. The solid line denote the model responses. (b) A two-dimensional model of resistivity structure along the EW profile. Sites are projected onto the profile (see Fig.3).

$m$ ) および日高帯 (中の川層群) ( $100-1000 \Omega \cdot m$ ) の4帯に区分することができる。特に日高変成帯は、 $20-28 \text{ km}$  まで  $10000 \Omega \cdot m$  と極めて高い比抵抗値を示している。地表での変成岩の分布域とこの高比抵抗域とはよく一致する。また、周波数に依存せずこの高比抵抗値はほぼ一定値を示しているから、電気的にかなり均質な変成岩が深部まで続いているものと推定できる。これとは逆に低比抵抗を示すところもあり、測線西側および  $14 \text{ km}$  付近でいずれも  $10 \Omega \cdot m$  前後の値が得られている。前者は Ogawa et al. (1994) でも見られ、陸源性砕屑岩から構成されるエゾ層群の分布域に対比できる。後者はイドンナップ帯に挟まれた新第三紀の砂岩の薄層の分布域によく対応している (植田, 1995)。以上のことから VLF, ELF-MT 法の結果は地表地質とは非常によい対応が見られることがわかった。

次に、より深部情報を得るために ULF-MT 法のデータを用いた構造解析を行なった。ただし、ELF帯と ULF帯の周波数の間にデータが少ないこと、ULF-MTの観測点数が少ないことなどの制約の範囲内で考察を行なう。

本調査地域を特徴づける日高変成帯は、Fig. 6を見ると  $1000-10000 \Omega \cdot m$  という高比抵抗値を持ち東傾斜をしながら、少なくとも地下  $20 \text{ km}$  まで分布しているものと推定できる。しかし、変成帯内は一様の比抵抗値を示さず、 $10000 \Omega \cdot m$  以上と  $1000 \Omega \cdot m$  前後の値を示す領域に大きく分けることができる。前者は、調査地域中央部から東部にかけての地表から地下浅部  $2 \text{ km}$  までと、観測点 TYNの地下  $9 \text{ km}$  よりそれ以深に分布している。後者は調査地域西側から中央部では地殻上部、東側では地殻中部に分布し、 $10000 \Omega \cdot m$  以上を示す高比抵抗層の中に、(相対的に)低比抵抗層が存在するような形態を示している。ところで、Fig. 8に、Fig. 6(b)で示した比抵抗モデルの特徴を強調した概略図と在田

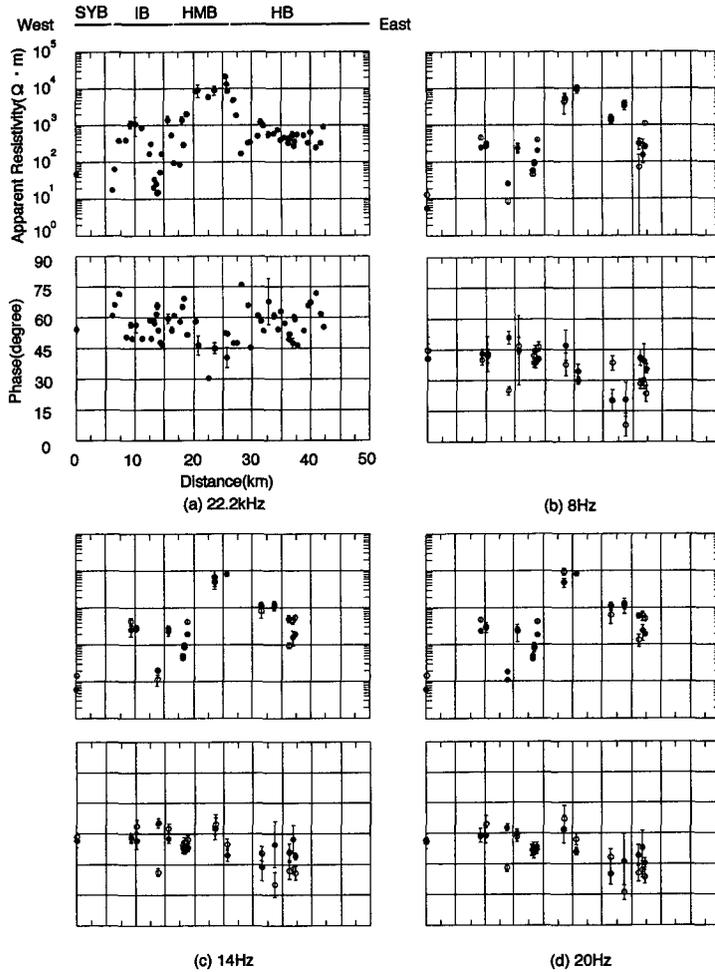


Fig. 7. Apparent resistivity and phase curves derived from VLF((a) 22.2 kHz) and ELF((b) 8 Hz, (c) 14 Hz, (d) 20 Hz)-MT measurements. Abbreviated names of tectonic divisions are also shown in the upper part of Fig. 7(a); SYB : Sorachi-Yezo Belt, IB : Idon'nappu Belt, HMB : Hidaka Metamorphic Belt, HB : Hidaka Belt. Solid and open circles in the Fig. 7(b), (c) and (d) describe TM and TE mode, respectively.

(1996)によって得られた地震波の反射面を重ねて書いた図を示す。在田(1996)はこの強い反射面は日高主衝上断層であると判断し、その根拠を地表での衝上断層の位置とその延長線に無理なく反射面が存在することを挙げている。しかし、 $1000 \Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗値を示す層がすべて変成岩に対応していると仮定すれば、この反射面は変成岩を切って分布していることになる。つまり、反射面は幌尻オフィオライト帯と日高変成帯の物質境界ではなく、日高変成帯中の岩相および構造を切って存在する断層と考えることもできる。水を含んだ断層破碎帯が、やや低い比抵抗層および強い地震波反射面の存在の原因になっているのかもしれない。

変成帯西側では、比抵抗基盤( $1000 \Omega \cdot m$ )は深さ 1.5 km に位置しており、低比抵抗層( $50\text{--}100 \Omega \cdot m$ )によって覆われている。日高変成帯の西側に分布する緑色岩帯はイドンナップ帯に対応する。この地

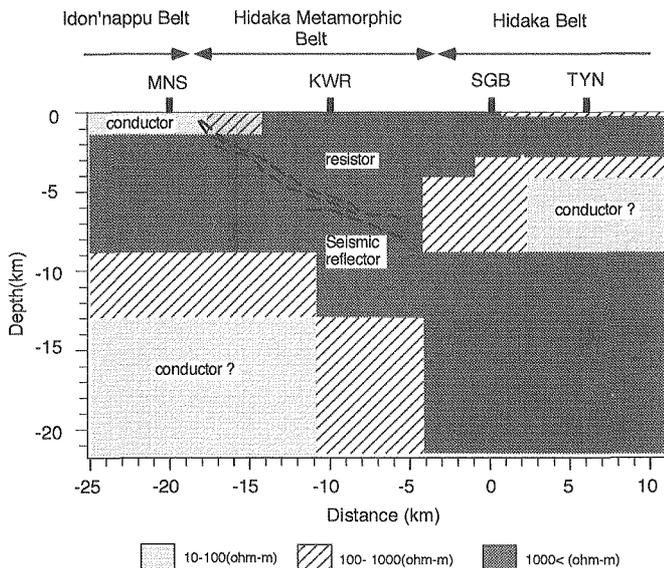


Fig. 8. Simplified resistivity model and seismic reflector shown by thick broken line.

域はメランジェ、玄武岩、ハイアロクラスタイトおよびそれらの碎屑岩類が分布し、地表付近では非常にもろく崩れやすい産状を呈している。表層付近では変質したり崖錐などでおおわれているために低比抵抗値を示しているものと考えられる。また、深さ13 km以深では $10 \Omega \cdot m$ の層が見られ、Ogawa et al. (1994)により変成帯西側で検出された低比抵抗層に対応していると考えられる。この層は衝突の際に地下深部にトラップされた海洋性の堆積層と解釈されている。しかし、本研究の場合は観測点数が少ないことから、トラップされているような構造が表現されておらず、今のところこれ以上の議論はできない。

変成帯の東側 TYN の下では、数百~数十 $\Omega \cdot m$ の層の存在が深さ3-9 kmまで推定される。この層が低比抵抗であることを考慮すると、これは中の川層群の堆積層に相当すると思われる。中の川層群は白亜紀~古第三紀の前弧堆積物と考えられ緻密な砂泥互層から構成されている。そして、層理面は急立し褶曲や断層などによって複雑な構造を示している。MT法において、値が大きくなるほど構造の3次元性を示す指標(スキューネス)を計算するとMNS, KWRではおおむね0.3~0.4を示すのに対して、SGB, 特にTYNではほぼ1.0またはそれ以上の値を示している。本データからもこの地域の構造の複雑さが見られる。

## VI. ま と め

日高変成帯を東西に横切る約42 kmの測線上で、VLF, ELF およびULF-MT観測を実施し、2次元比抵抗構造解析を行なった。本観測は様々な制約から観測点を十分に確保できなかったこと、ULF帯とELF帯の間の周波数帯に測定データがないなどの限界があった。特にULF帯の測定点数の不足はかなり深刻である。従って、深部構造の推定結果はまだ不確定性を含んでいることを前提として以下の結論を得た。

(1) 本調査地域を特徴づける日高変成帯は、高比抵抗値を持ち東落ちの傾斜を示す。ただし、変成

帯内は一様な比抵抗値を示さず、地下浅部と深部は  $10000 \Omega \cdot m$  以上、強い地震波反射面の位置する中部は  $1000 \Omega \cdot m$  の値を示す。地下数 km から 20 km 付近に分布する  $1000 \Omega \cdot m$  は、日高主衝上断層によって破碎された変成帯の一部が水などの存在によって変質し比較的比抵抗になったものと考えられる。

(2) 日高変成帯南部域では日高主衝上断層は、西側のかつての海洋性地殻のポロシリオフィオライト帯と、かつての島弧地殻の日高変成帯の物質境界とするよりむしろ、日高変成帯中の岩相および構造を切って存在する断層と考えることも可能である。

謝辞 歌田久司博士(東京大学地震研究所)には ULF 帯のデータ取得の際に、U 36 測定機器(フラックスゲート型磁力計)を使用させて頂いた。本研究に用いた費用の一部に、文部省科学研究費補助金(一般研究 A, 課題番号 06402018, 研究代表者: 在田一則)の一部を使用した。記してここに謝意を表します。

## 文 献

- 在田一則, 1996. バイプロサイスミックによる日高衝突帯の 3 次元深部構造解析とテクトニクス. 平成 6 年科学研究費補助金(一般研究(A))研究成果報告.
- Arita, K., T. Ikawa, T. Ito, Y. Nishida, A. Yamamoto, H. Satoh, M. Saito, G. Kimura, T. Watanabe, T. Ikawa and T. Kuroda, 1997. Crustal structure and tectonics of the Hidaka collision zone, Hokkaido(Japan), revealed by vibroseis seismic reflection and gravity surveys. *Tectonophysics*, (in press).
- Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, **45**, 1-16.
- 君波和雄・小松正幸・新井田清信・紀藤典夫, 1986. 北海道中生界の構造区分と層序. 北海道の地質と構造運動, 地団研専報, **31**, 1-15.
- Kimura, G., 1986. Oblique subduction and collision: Forearc tectonic of the Kurile arc. *Geology*, **14**, 404-407.
- 小松正幸・在田一則・宮下鈍夫・前田仁一郎・本吉洋一, 1979. 日高変成帯・西帯と主帯の境界. 日本地質学会第 86 年学術大会講演要旨, 289.
- 斎藤正徳, 1978. 漸化式デジタルフィルターの自動設計. 物理探鉱, **31**, 240-263.
- 植田勇人, 1995. 北海道中軸部イドンナップ帯における前弧海盆域の構造-特に緑色岩類の組成・定置様式とイライト結晶度からの形成プロセス検討-. 北海道大学修士論文.
- 丸山孝彦・長崎康彦・狐崎長狼, 1991. 日高山脈及びその周辺の重力異常と地質構造. 秋田大学鉱山学部資源地学研究施設報告, **56**, 95-113.
- 森谷武男・Oguz Ozel・西宮隆仁・宮町宏樹, 1994. 日高山脈の速度構造モデル. 地震学会講演要旨, **2**, 373
- Minato, M., M. Gorai and M. Hunahashi, 1965. The geologic development of Japanese islands. Tsukiji Shoten, 442.
- 日本の地質(北海道地方)編集委員会, 1990. 北海道地方. 共立出版.
- Ogawa, Y., Y. Nishida and M. Makino, 1994. A collision boundary imaged by magnetotellurics, Hidaka Mountains, central Hokkaido, Japan. *J. Geophys. Res.*, **99**, 22373-22388.
- Ogawa, Y. and T. Uchida, 1996. Two dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift. *Geophys. J. Int.*, **126**, 69-76.