

広帯域 MT 法による北海道日高山脈周辺地域における比抵抗構造探査(序報)

—2000 年度電磁気共同観測報告—

地殻比抵抗研究グループ・佐藤秀幸*

*北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

Preliminary Results of Wideband-MT Surveys in and around Hidaka Mountains, Hokkaido, Japan

- Report of Cooperative Observation in 2000 -

Reserch Group for Crustal Resistivity Structure, Japan,

Hideyuki Satoh*

*Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

1. はじめに

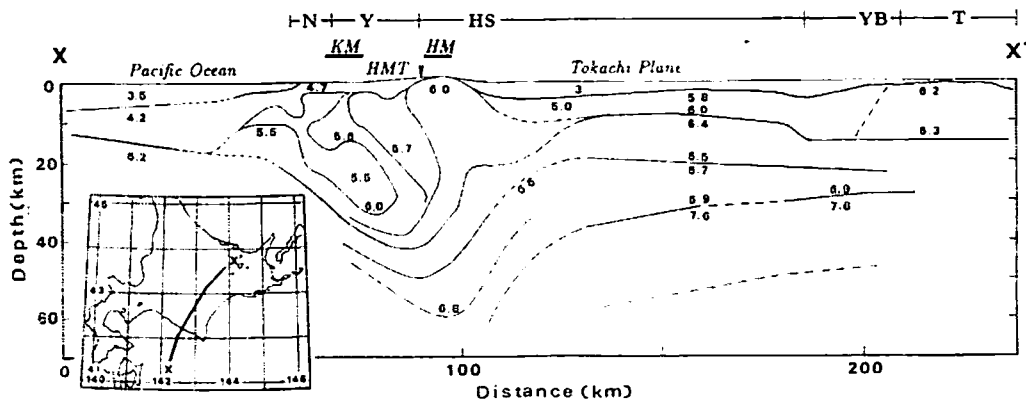
地震予知計画に基づく内陸地震帯の活動度評価の一環として、地震断層や活断層とその周辺部での構造調査がいくつかの地域で実施されている。全国の大学・研究機関の研究者によって構成される地殻比抵抗研究グループはこの事業計画に基づき、電磁気共同観測を実施している。これまで、えびの群発地震震源域、野島断層、長野県西部地震震源域、千屋断層およびその周辺地域において、広帯域MT法による比抵抗構造調査を中心として、各種の調査を実施してきた (Goto et al., 1997, 地殻比抵抗研究グループ・笠谷, 1998, 村上ほか, 1998, 地殻比抵抗研究グループ, 1999)。2000 年度の調査は、北海道内でも地震活動が高い地域のひとつである日高山脈周辺地域において、深部比抵抗構造調査を中心課題として実施された。本報告では、2000 年度の電磁気共同観測の概要とプリリミナリーなデータ処理結果について報告をする。

2. 観測の背景

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南北約 150km、東西約 20–30km の幅を持ち、複雑な地質構造を有している。この日高山脈およびその周辺地域は、地質学的研究から後期中新世に始まる千島弧と東北日本弧の衝突によって形成されたと考えられている (例えば, Kimura et al., 1983, Kimura, 1986, Kimura, 1996 など)。さらにこの衝突は日高山脈下で発生する地震活動の分布から、現在も日高主衝上断層を接して千島外弧と北部東北日本外弧の衝突という形で継続している。

この衝突帯の形成プロセス、言い換えれば島弧地殻形成プロセスおよびメカニズムを解明するために、人工地震を使った屈折法地震探査・反射法地震探査、重力探査、MT探査など各種の観測が実施されている (例えば, Miyamachi and Moriya, 1984, 山本・森谷, 1989, Ogawa et al., 1994, Arita et al., 1998, 伊藤ほか, 1998, Tsumura et al., 1999)。伊藤ほか(1998)は反射法地震探査の結果を、東北日本弧へ向かって衝突する千島弧の下部地殻は深さ 22–24km 付近で上下に裂け、その上半分は日高主衝上断層を形成しながら西上方へ衝上し、下半分は上部マントルと一体となり西下方に落ち込み太平洋プレート上面と接しているとの解釈をした。この解釈は森谷ほか(1997)によって得られた、低速度物質 (5.5 km/s) に楔状に高速度物質 (6.0–6.4 km/s) が刺さり込んでいるような形状ともよく一致する (第 1 図)。つまり、この衝突帯ではリソスフェアが上下に分離するデラミネーションが起こっていると考えられるようになってきた。

日高山脈およびその周辺で発生する地震活動は、浦河沖から日高山脈西部にかけて見られ、深さ 20–40km に集中しており、15km より浅い場所ではほとんど見られない (森谷ほか, 1997)。注目すべきことは、深発



第1図 森谷ほか(1997)による浦河沖から津別付近に至る測線下でのP波速度構造。図中の実線は過去の構造探査で得られた結果を、破線は推定して引いた等速度線を表している。なお、図中の数値の単位はkm/sである。図の上部に示した記号はそれぞれ地質構造帯区分を示している(N:新第三系堆積層, Y:空知-エゾ層群, HS:日高層群, YB:湧別帯, T:常呂帯, KM:神居-コタン変成帯, HM:日高変成帯, HMT:日高主衝上断層)。

地震面よりは浅いが地殻内部よりは深いマントル内部の30-65kmの深さに存在する地震活動である。複雑なP波速度構造から生ずる震源決定の誤差を考慮しても、深さ30-65kmの地震は地殻内部ではなくマントル内部で発生していることは間違えないと考えられる。ここで発生する地震の震源分布と三次元地震波速度トモグラフィで得られている低速領域が、よく対応していることは非常に興味深い(Miyamachi and Moriya, 1984, 勝俣ほか, 私信)。

Ogawa et al.(1994)は広帯域MT観測から、深さ60kmまでの日高衝突帯直下およびその周辺の比抵抗構造を求めた。しかし、測線が脊梁部から西側にかけて設定されており衝突帯の全体像が把握できないこと、震源が深さ20-40kmに集中しているにもかかわらず20km以深の比抵抗構造の信頼性が薄い、という問題点があった。そこで、2000年度の観測に際しては、日高衝突帯全体の比抵抗構造を得るために約150kmという長い測線を設定し、なおかつ深部比抵抗構造を得るために長周期MT観測も実施した。日高衝突帯において地下浅部から深部までの詳細な比抵抗構造を求めることで、地震発生の際としての状態を把握し、あわせて地震発生機構理解の一助としたいと考えた。

3. 2000年度観測の概要

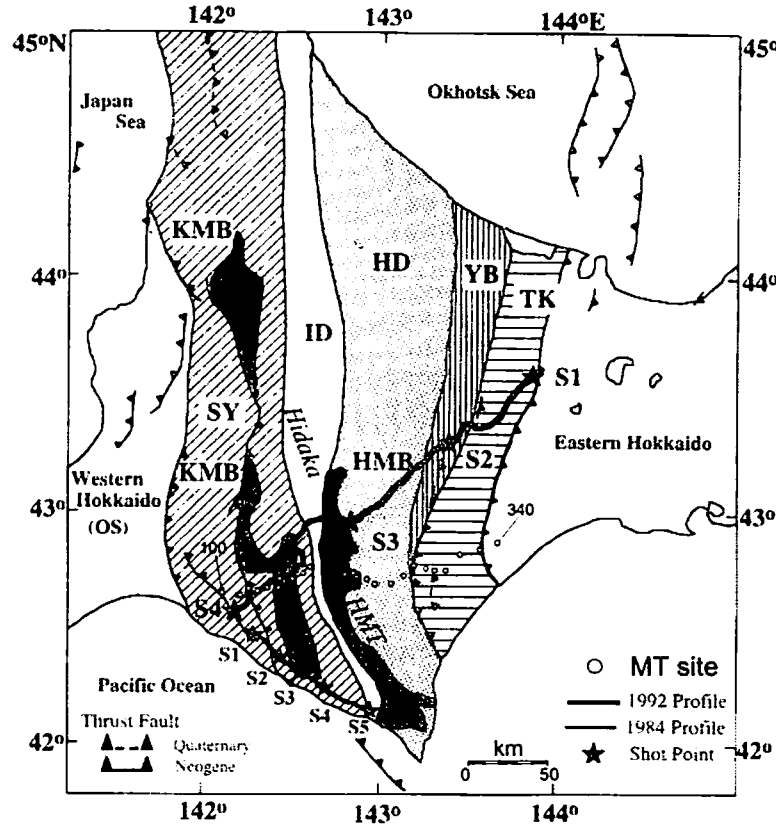
観測は広帯域MT観測と長周期MT観測を実施した。広帯域MT観測は2000年7月25日から8月3日に行われた。観測点は日高山脈を横断するように、勇払郡穂別町から十勝郡浦幌町付近にいたる約150kmの測線上で25点を設けた(第2図)。測定にはGPS時計同期が可能な広帯域MT測定装置(カナダ・フェニックス社製, MTU5およびMTU2E)を13台使用した。実際に現地での作業に参加していただいたのは、以下の12機関27名の方々である。なお、今回の観測は測線長が長く移動に時間を要することが予想されたため、日高側と十勝側の2班に分宿した。

(日高班) 西谷忠師・坂中伸也・小林勝幸・根典子(秋田大学), 三品正明(東北大学), 山口覚(神戸大学), 塩崎一郎・宇都智史(鳥取大学), 村上英紀・高木典子(高知大学), 西田泰典・谷元健剛・佐藤秀幸(北海道大学)

(十勝班) 小川康雄・高倉伸一(地質調査所), 原田誠・菊地真(千葉大学), 笹井洋一・上嶋誠・浅利晴紀(東京大学地震研究所),

山口 透 (理化学研究所), 大志万直人・相澤広記 (京都大学防災研究所),
 長尾大道 (京都大学), 茂木 透・高田真秀・杉崎康弘 (北海道大学)

長周期MT観測はテラテクニカ社製・U30測定装置を使用し, 上記の観測期間の後半に3点 (測点 190, 230, 290) に設置した。バッテリー交換などの保守をしながら約2ヶ月間, 電磁場データを計測した。しかし, 測点 190 は測定機器にトラブルが発生したため, 結局2点のみデータ取得ができた。

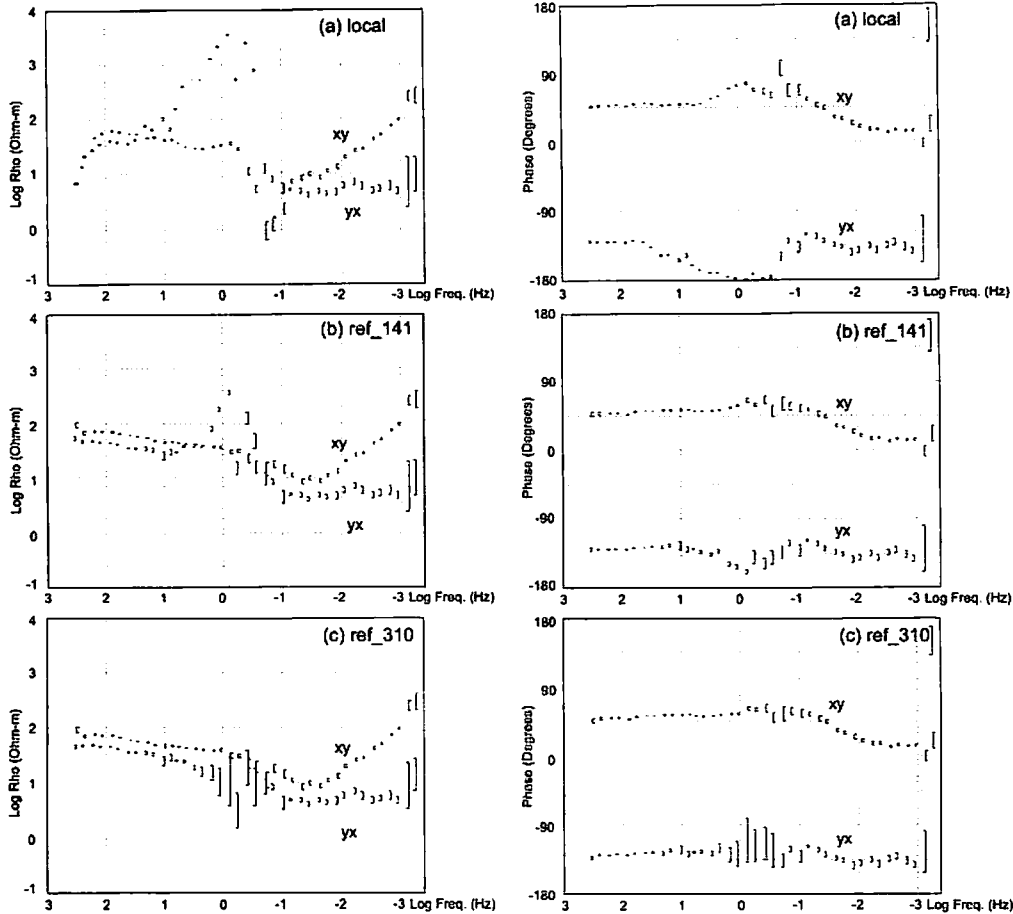


第2図 2000年広帯域MT観測点配置図 (Iwasaki et al., 1998 に加筆した)。図中白丸はMT観測点を, 太線および細線は屈折・反射法地震探査の測線を示す。図中の記号はそれぞれ地質構造帯の区分を示している (SY: 空知-エゾ帯, KMB: 神居-コタン変成帯, ID: イドンナップ帯, HD: 日高帯, HMB: 日高変成帯, YB: 湧別帯, TK: 常呂帯, HMT: 日高主衝上断層)。

4. データ処理および結果

電磁場データは, 1測点2日ないし3日間をめどとし, 短周期帯 (0.003-0.125秒) を3時間, 長周期帯 (0.125-1820秒) を15時間にわたって計測した。データ処理にあたっては, 各観測点ごとにシングルサイト処理により, 見掛け比抵抗・位相差およびその他のパラメータの推定を行った。観測期間中にある程度の信号が入っていたこと, 観測点近傍の電磁気ノイズが低かったことから, ほとんどの観測点では比較的良好な結果が得られた。しかしながら, 一部の観測点では長周期帯, 1秒よりも長周期側でエラーバーの大きいところも見られた。そこで, これらの観測点のデータクオリティーを改善させるために, リモートリファレンス処理を適用した (Goubau et al., 1984)。観測全期間にわたって固定参照点を設けなかったこと, 参照点としてどの観測点が適切なのか判断できなかったことから, 組み合わせ可能なペア全てに対して計算を行った。その結果の一例を, 第3図に見掛け比抵抗曲線を第4図に位相差曲線を示す。第3図および第4図と

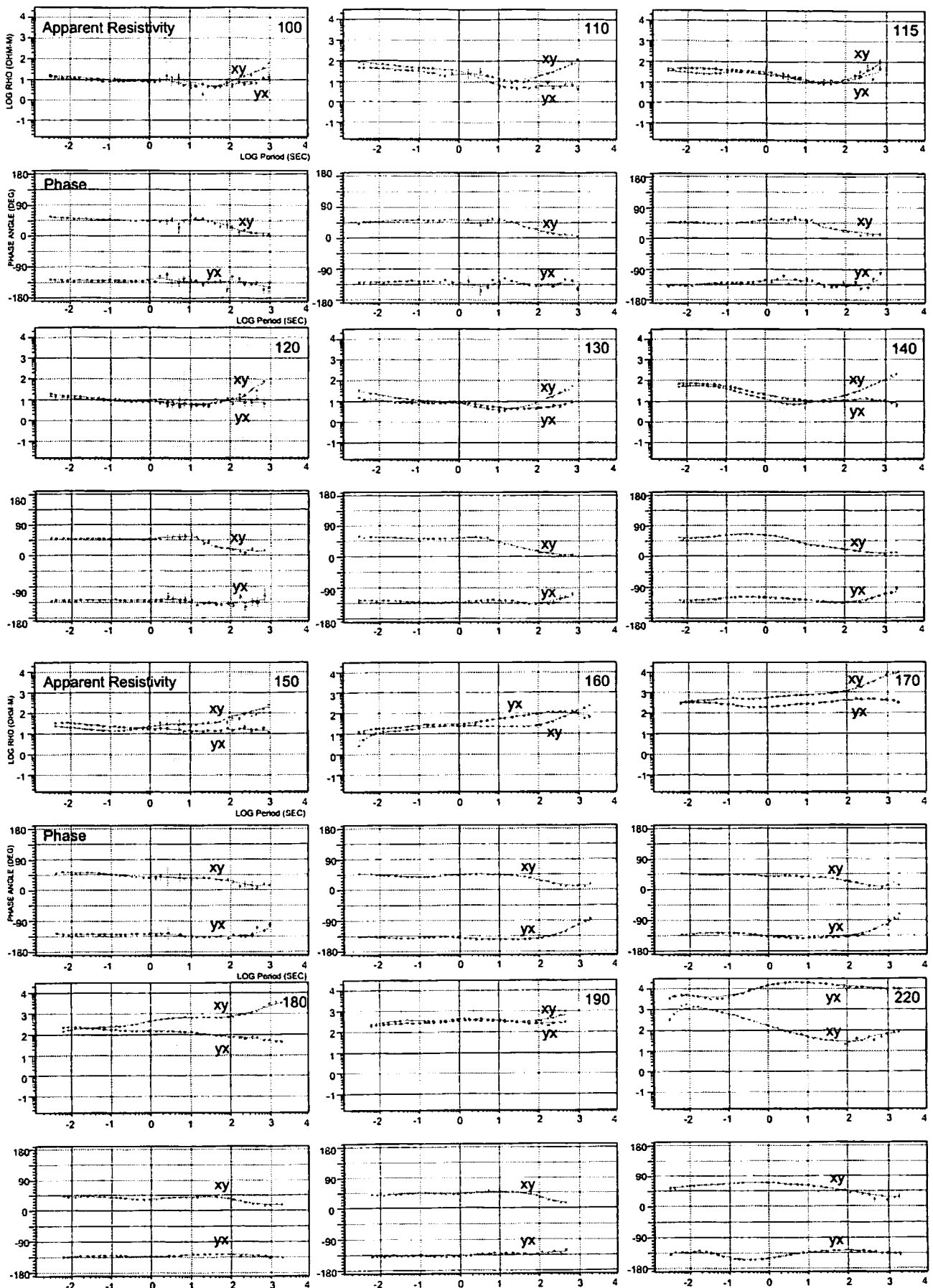
も測点 110 に対して、上から(a)シングルサイト処理結果、(b)測点 141 を参照点とした結果、(c)測点 310 を参照点とした結果を示している。見掛け比抵抗および位相差も、(a)よりも(b)、さらに(c)の処理結果が改善していることが明らかである。測点 110 と 310 は約 70–80km 離れており、高倉ほか (1994) と同様にファリモートレファレンス処理がうまく機能していることがわかる。なお、データ処理はまだ途中段階であることから、リモートレファレンス処理は測線西側の観測点 (測点 110–190) のデータにだけしか適用していない。



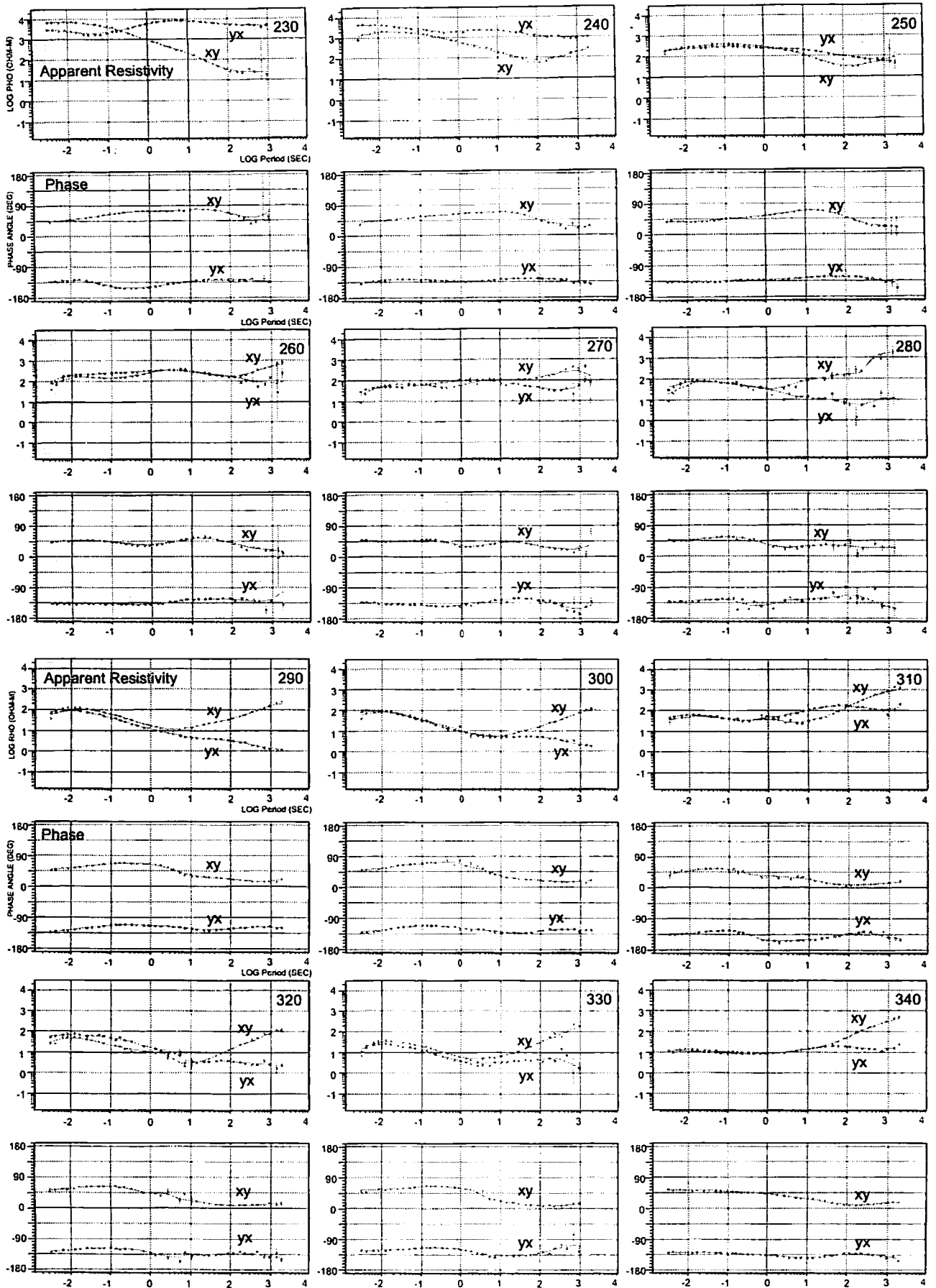
第 3 図 測点 110 の見掛け比抵抗曲線。(a)シングルサイト処理結果、(b)測点 141 を参照点とした結果、(c)測点 310 を参照点とした結果

第 4 図 測点 110 の位相差曲線。(a)シングルサイト処理結果、(b)測点 141 を参照点とした結果、(c)測点 310 を参照点とした結果

第 5 図に、各観測点で得られた見掛け比抵抗および位相差を示した。地質学的な構造の走向が北北西–南南東であること、Ogawa et al.(1994)による MT インピーダンスから推定された構造の走向が $N18^{\circ} W$ であることから、主軸 (X 軸) の方向は $N20^{\circ} W$ にとっている。図からわかるように、測点 150、280 の長周期成分や、いくつかの観測点で数–10 秒でみだれが見えるほかは、ほとんどの観測点で S/N が良く、エラーバーがほとんど見られない。短周期帯の見掛け比抵抗は脊梁付近にある観測点 170–260 では $100 \Omega \cdot m$ 以上を示すが、他は $100 \Omega \cdot m$ 以下である。これは脊梁両翼部の表層に分布する新第三系や蛇紋岩帯などが、低



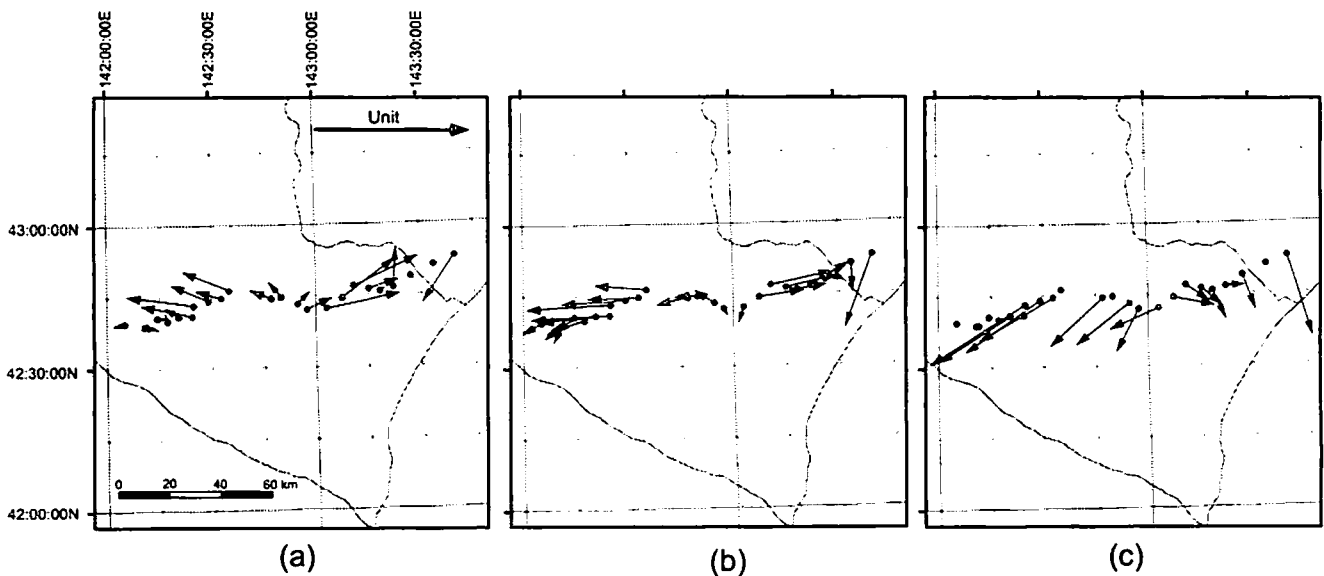
第5図 N20° Wを主軸 (X軸) とした, 全観測点の見掛け比抵抗曲線および位相差曲線。



第5図 (続き)

比抵抗であることを示している。さらに十勝平野中央部に位置する測点 290, 300 での見掛け比抵抗は、1-10 秒の周期帯で数 $\Omega \cdot m$ という極小値をとっている。これは十勝平野の堆積盆地を形成している新第三系の堆積層が厚いこと、その下部に高比抵抗層が存在することを示唆している。一方、脊梁付近の測点 190 では短周期から長周期にわたって 300-500 $\Omega \cdot m$ と高比抵抗であり位相も 45° とあまり変化がない。しかし、脊梁東側の測点 220, 230, 240, 250 の見掛け比抵抗 (XY) は長周期になるにつれて低比抵抗を示し、位相も高くなる。これは、東側では高比抵抗層の下部に低比抵抗層の存在があることを示している。脊梁浅部にある高比抵抗層が東側深部まで分布しているとすれば、Tsumura et al.(1999)が解釈しているように、衝突している千島弧の下部地殻より深部までの情報を得たことになる。詳細な議論については、比抵抗構造解析の結果が得られるまで待ちたい。

2次元構造解析の予備段階として、それぞれの観測点におけるインダクションベクトルの分布を調べた(第6図)。周期10秒では表層の低比抵抗の分布を反映したベクトル分布が見られる。すなわち、石狩低地帯東部の沖積層、十勝平野の沖積層を向いている。100秒では脊梁以西では西側を、以東では東側を向いている。1000秒では、南向き成分が卓越している。これはOgawa(1994)と同様の結果を示し、良導体である太平洋の海水の効果と考えられる。これらの結果から構造の走向はほぼ南北方向であり、少なくとも100秒までは2次元比抵抗構造解析をしても良いと考えられる。



第6図 インダクションベクトル。(a)10秒, (b)100秒, (c)1000秒

5. おわりに

広帯域MTデータの整理は、2000年日高MTデータ解析ワーキンググループ^{*}を発足させ、多量のデータを共同で整理し解析がすすめられている。まだ比抵抗構造を得る段階までには至っていないが、比較的良質なデータが得られているので、今後の解析結果に期待ができると思われる。なお、本報告に関する解析は主

^{*}2000年日高MTデータ解析ワーキンググループ

坂中伸也(秋田大学), 三品正明(東北大学), 村上英紀(高知大学), 山口 覚(神戸大学), 後藤忠徳(海洋科学技術センター), 小川康雄(東京工業大学), 高倉伸一(地質調査所), 上嶋 誠(東京大学), 大志万直人・長尾大道(京都大学), 西田泰典・茂木 透・佐藤秀幸(北海道大学), 以上13名

に佐藤秀幸, 三品正明, 村上英紀, 小川康雄が担当した。

謝辞：現地での観測を実施するにあたり，東京工業大学からMTU5，京都大学・佐賀大学よりU30測定機器使用の便宜を図っていただいた。国土地理院水沢測地観測所からは，広帯域MTデータ処理のリモートデータとして水沢および江刺観測所での連続観測値を提供していただいた。測定機器設置に際して，平取町，日高北部森林管理所振内事務所，十勝西部森林管理所ほか地権者の方々にはご協力いただいた。また，宿舎となった「ひだか高原荘」と「ホテル光南」の皆さんには，いろいろ便宜をはかっていただき，観測が円滑に実施できました。ここに記して関係された方々にお礼申し上げます。

参考文献

- Arita, K., T. Iwasaki, T. Ito, A. Yamamoto, M. Saito, Y. Nishida, H. Satoh, G. Kimura, T. Watanabe, T. Ikawa and T. Kuroda, Crustal structure and tectonics of the Hidaka collision zone, Hokkaido(Japan), revealed by vibroseis seismic reflection and gravity surveys, *Tectonophysics*, **290**, 197-210, 1998.
- 地殻比抵抗研究グループ・笠谷貴史，長野県西部地震震源域での地殻比抵抗構造（序報），CA研究会1998年論文集，193 - 199, 1998.
- 地殻比抵抗研究グループ，広帯域MT法による千屋断層深部比抵抗構造調査(序報)，京都大学防災研究所年報，**42** B-1, 203-211, 1999.
- 伊藤谷生・在田一則・井川崇，日高山脈に島弧の衝突を見る，*科学*，**68**，72 - 78, 1998.
- Goto, T., N. Oshiman, and N. Sumitomo, The Resistivity Structure around the Hypocentral Area of the Ebino Earthquake Swarm in Kyushu District, Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, **49**, 1279-1291, 1997.
- Goubau, W. M., P. M. Maxton, R. H. Koch and J. Clarke, Noise correlation lengths in remote reference magnetotellurics, *Geophysics*, **49**, 433-438, 1984.
- Kimura, G., Oblique subduction and collision : Forarc tectonic of the Kurile arc, *Geology*, **44**, 404-407, 1986.
- Kimura, G., Collision orogeny at arc-arc junctions in the Japanese islands, *The Island Arc*, **5**, 262-275, 1996.
- Kimura, G., S. Miyashita and S. Miyasaka, Collision tectonics in Hokkaido and Sakhalin, In Hashimoto, M. and Ueda S., eds., *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*, TERRAPUB, Tokyo, 123-134, 1983.
- Miyamachi, H. and T. Moriya, Velocity structure beneath the Hidaka mountains in Hokkaido, Japan, *J. Phys. Earth*, **32**, 13-42, 1984.
- 村上英紀・橋本武志・大志万直人・住友則彦・山口覚・本蔵義守，野島注水実験時の電磁気観測，CA研究会1998年論文集，209 - 216, 1998.
- 森谷武男・宮町宏樹・オウズオゼル・ヌルジャンオゼル・岩崎貴哉・笠原稔，日高山脈の地下構造と地震テクトニクス，*構造地質*，**42**，15-30, 1997.
- Ogawa, Y., Y. Nishida and M. Makino, A collision boundary imaged by magnetotellurics, Hidaka Mountains, central Hokkaido, Japan, *J. Geophys. Res.*, **99**, 22373-22388, 1994.
- 高倉伸一・武田裕啓・松尾公一，MT法における広域ノイズの影響とファーリモートレファレンス法によるその除去，*物理探査*，**47**，1，24 - 35, 1994.
- Tsumura, N., H. Ikawa, T. Ikawa, M. Shinohara, T. Ito, K. Arita, T. Moriya, G. Kimura and T. Ikawa, Delamination-wedge structure beneath the Hidaka Collision Zone, Central Hokkaido, Japan inferred from seismic reflection profiling, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 8, 1057-1060, 1999.
- 山本明彦・森谷武男，北海道の重力異常と地下構造，*月刊地球*，**11**，377 - 385, 1989.