

秋田県千屋断層の電磁気構造

佐藤 秀幸*・西谷 忠師**

Resistivity structure beneath the Senya fault in Akita Prefecture

Hideyuki SATOH* and Tadashi NISHITANI**

(Abstract)

The understanding of the structure near the fault area provides us the information of the fracture zone and the way of prevention of the earthquake disaster. In order to know the distribution and the depth of active faults we have to investigate the resistivity in the deeper part of the fault. We selected Senya fault, one of the faults caused by Rikuu earthquake in 1896, as a survey area. The maximum vertical displacement is about 3 meters. Magnetic total force, apparent resistivity and phase have been obtained by using proton magnetometer, PL-MT and VLF-MT instruments. MT method showed anomalously low resistivity values around this fault. The intensity of the Earth's magnetic field shows the tendency of high anomaly in the western part of it. We can reveal the position and distribution of fractured area and its resistivity structure along the Senya fault.

Keywords ; Active fault, Earthquake disaster, Resistivity structure.

1. はじめに

千屋断層は秋田県東部の奥羽山脈西縁部に南北およそ数十kmに渡る大規模な逆断層群である。明治29年(1896年)の陸羽地震のときにできた地震断層で、最大変位は約3mである(千屋断層研究グループ, 1986)。

断層は地質学的に重要であるばかりでなく、地震予知の観点からも詳しく調べる必要がある。内田(1984)は断層調査に電磁探査法が有効であると述べている。今回の研究目的は電磁気学的手法で断層を調査し、その構造を明らかにすることにある。探査手法はプロトン磁力計による全磁力測定とMT

法を用いた比抵抗測定である。

2. MT法について

MT法は自然に発生する電場(地電流)と磁場(地磁気)の各成分を測定し、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。磁場及び電場を平面電磁波で近似すれば、電場と磁場の成分の測定によって地下の比抵抗構造が得られる。見掛け比抵抗と電場、磁場の関係は次の簡単な式で結び付けられる(西谷・乗富, 1984; 乗富, 1990)。

$$\rho = 0.2T \cdot (E/H)^2$$

ここで、 ρ は見掛け比抵抗($\Omega \cdot m$)、 T は電磁波の周期(sec)、 E は誘導される電位傾度(mV/km)、

(平成5年2月2日 受付, 平成5年2月15日 受理)

*秋田大学大学院鉱山学研究科鉱山地質学専攻. Mining Geology, Graduate School of Mining, Akita University.

**秋田大学鉱山学部資源・素材工学科応用地球科学教室. Institute of Applied Earth Sciences, Department of Geosciences, Mining Engineering and Materials Processing, Mining College, Akita University.

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の電磁波でも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盤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。

$$\delta = 503 (\rho / f)^{1/2}$$

ここで、 δ は表皮深度 (m)、 ρ は見掛け比抵抗 ($\Omega \cdot m$)、 f は周波数 (1/sec) である。

この式から明らかなように、地下の比抵抗構造を知るためには信号源として扱う電磁波の周波数が重要な役割を演じている。今回の観測では、人工信号源を用いて比抵抗構造探査を行った。

3. 調査地域の地形及び地質

調査地域 (Fig. 1) は南より秋田県仙北郡千畑町、

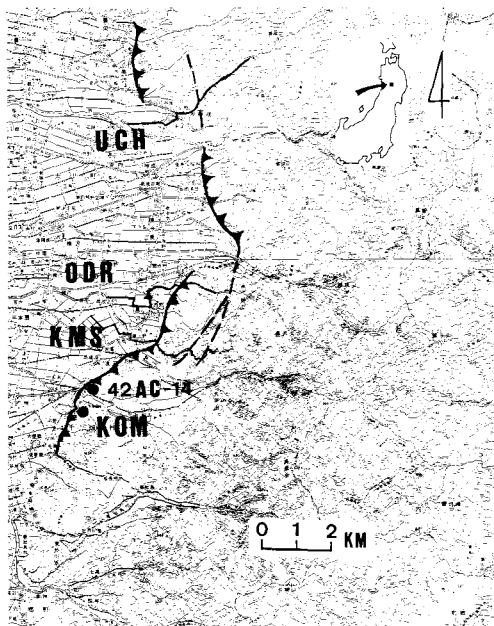


Fig. 1. Schematic topographic map of surveyed area. Notation describes as follows; UCH : Uchisawagawa line, ODR : Oodai-gawa line, KMS : Komashigawa line, 42AC-14 : the site of well logging, and KOM : Komori area where magnetic total force was observed.

太田町、中仙町の3町に及ぶ。東部は奥羽山脈を形成している比較的標高の高い山々からなる。西部は横手盆地の縁辺部で平野が続いている。山地は真昼岳を中心として標高が1000m前後の山々が連なり、西側になるにつれて低い山々が多くなる。河川は善知鳥川や川口川のようにほぼ東西系の河川が多い。また、山地と盆地の境界付近には山間部から運搬された土砂などの堆積物が到るところで扇状地を作っている。

調査地域に分布する地層は、Fig. 2 に示すように下位より、新第三系の湯田層、真昼川層、弥勒層、上川原層、千屋層であり、第四系としては、段丘堆積物、沖積層からなる (臼田ほか, 1976, 1980)。地層は西傾斜であり東側から西側に向かって新しい地層が堆積している。調査地域の東部から中央部にかけては湯田層・真昼川層・弥勒層の安山岩や玄武岩などの火山岩地域で、西部は上川原層や千屋層など

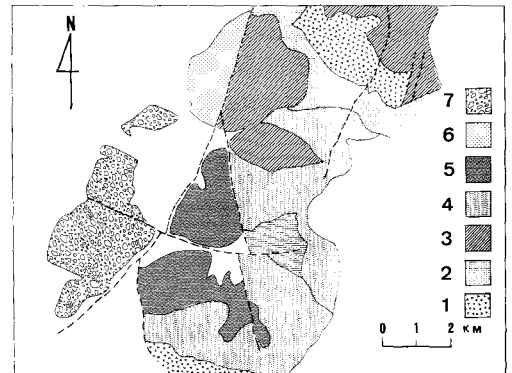


Fig. 2. Geological map of surveyed area.

This map shows the lower part of Figure 1. Numbers in the figure describe rock facies; 1. Yuda Formation (Pyroxene andesite), 2. Mahirugawa Formation (Olivine basalt, tuff breccia), 3. Mahirugawa Formation (Mudstone), 4. Mahirugawa Formation (Pumice tuff), 5. Miroku Formation (Augite-hypersthene andesite), 6. Kamikawahara Formation (Sandstone, siltstone), 7. Senya Formation (Conglomerate, sandstone and mudstone).

The age from number 1 to 6 is Miocene and number 7 is Pliocene.

の砂岩、シルト岩、礫岩などの堆積岩を中心とする地層から構成されている。更に西側の平野部は段丘堆積物や沖積層などからなる。また、背斜・向斜構造は局所的に存在するが、大規模な構造はない。断層などの構造線は南北系の断層が卓越し、それを東西に横切る形で数本の断層が走っている。活断層と呼んでいる第四紀以降に発生した断層は、地質図(臼田ほか, 1976)には記載されていない。今回調査した断層群は、奥羽山脈の西縁部の山地と田畑の広がる平野部の境界付近に位置する。

4. 電磁気観測

電磁気学的な手法としてはプロトン磁力計を用いた全磁力測定と、特定の周波数を用いるMT法(VLF-MT法とPL-MT法)による測定を行った。

プロトン磁力計を用いた全磁力測定は千畑町小森地区で行った。この位置はFig.1でKOMと表示してある場所である。この地区ではトレンチ調査が行われ、詳細に断層が調べられている(千屋断層研究グループ, 1986; 活断層研究会, 1986, 1991)。全磁力測定は2センサー型のプロトン磁力計(Geometrics社, G856AX)を用いた。測線は千屋断層を横切って東西に約200mとり、測点間隔を2.5mにして観測を行った。なお、1測点で5~6回測定し、その平均値を測定値とした。地磁気の日変化は一定時間毎に定点にもどって観測し、この変化を観測値から差し引き補正を行った。

VLF-MT法は人工の電磁波を用いた探査手法である。この人工の電磁波とは世界中に散在する潜水艦通信用のVLF帯の電波である。この電波は周波数や強度が安定しており、電波の到来方向が特定できるという利点がある。今回の測定では日本の発信局であるNDT局(17.4kHz)を使用した。測点間隔は50mとした。VLF電波は電離層の状態によって受信状態が異なるが、波長が長く伝播性が良いので多くの地域でよく受信できる。測定方法としては、VLF電波の到来方向に測定機器本体を向けて、これと平行に測定器本体から延びる2本の電場計測用の電極を設置する。測定時には見掛け比抵抗値と位相差の2つのパラメーターが得られる。

PL-MT法は商用交流電力線から発生する電磁場を利用して地下の比抵抗値を測定する方法である(坪田ほか, 1987, 1988)。しかし、高压送電線から測定点までの距離が近過ぎると直接電磁波の影響を受けるので、通常は800mから1000m離れる必要がある。磁場の測定はインダクションコイルを用いる。PL-MT法の場合は、信号源の到来方向が決まっているので、コイルは1成分だけでよい。電場は送電線の方向と平行に配置して測定する。現場では100m間隔で測定を行った。本測定は、比較的短い時間で測定が可能で、測定条件や周波数毎の情報もフロッピーに記録することができる。そして、基本周波数の50Hzから550Hzに至る11次高調波までの見掛け比抵抗値と位相差が得られる。なお、VLF-MTとPL-MTの測線は4~5kmの長さとし、南北方向の走向を持つ千屋断層を東西方向に横切る形で測定を行った。測線名は北からUCH(中仙町内沢川沿い)、ODR(大田町大台川沿い)、KMS(千畑町小増沢川沿い)としている。

5. 結果

5.1 プロトン磁力計を用いた全磁力測定結果

プロトン磁力計を用いた全磁力測定の結果をFig.3に示す。図中20m(起点からの距離、以下同じ)付近では極小値が、また、220m付近では急激に全磁力が大きくなる傾向が現われているが、これは鉄板や金属物の影響によるノイズである。20m~100mまでは上下2つのセンサーともに全磁力が48150nT

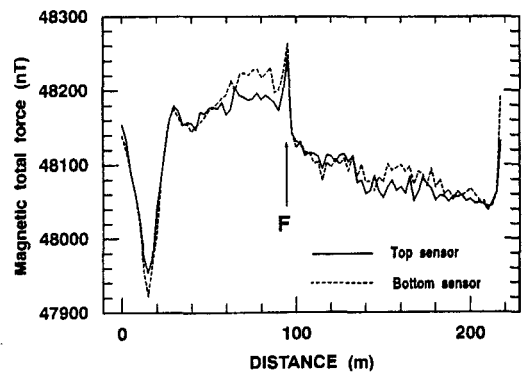


Fig. 3. Variation of total force obtained by proton magnetometer.

から 48250nT と比較的高い数値を示すのに対して、100m から 210m までは断層位置を境として急激に全磁力が低くなり、以後 48040nT 付近まで減少する。60m～100m までは上下センサーの差が大きく +400nT であり、100m～140m までは -150nT の異常が認められる。そして、140m～200m までは 100nT から 200nT の差を生じている。これらのことより、断層位置を境にして西側では高い正の全磁力異常を示すことがわかる。これは乗富 (1981) の結果とほぼ同じである。

5.2 VLF-MT測定による結果

VLF 探査の結果のうち ODR 測線の結果を Fig. 4 に示す。特徴的なことは、断層部付近で比抵抗値が $10\Omega \cdot m$ 前後の値を示すことと、位相差も 45度より高くなっていることである。2600m から 3000m 付近でこの傾向が著しい。この部分は断層破砕帯と考えるとよいであろう。KMS, UCH の測線でも同様の傾向を得ることができた。位相差から得ることのできる情報は 2層構造を仮定した場合、上下の層の比抵抗的なコントラストである。位相差が 45度より大きければ下の層は上の層に比べて比抵抗値が低く、45度より小さければ下の層には高い比抵抗値を示す層があると考えるとよい。ODR 測線の場合は 45度より小さい数値が 800m から 2400m まで続いているので下に高い比抵抗値を示す層があると考えられる。また、2400m から 3200m までは 45度より大きい数値を示しているので下の層は低い比抵抗値を示すものと考えられる。この地域の地質は、東側地域は火

山岩質岩 (玄武岩質岩, 同質火山角礫岩, 浮石質凝灰岩など) で構成されている。これに対して西側地域は、ほとんどが第四紀の段丘堆積物や沖積層からなる。そして、その境界部では第三系の砂岩や泥岩などの堆積岩類が分布している。この分布形態が VLF 探査の結果に反映されていると考えてよいであろう。

5.3 PL-MT法による結果

KMS 測線の PL-MT 探査の結果を Fig. 5 に示す。図には 50Hz と 150Hz の 2つの周波数の測定値を表示している。特徴としては 2つの周波数ともに、0 から 1000m 付近までは $100\Omega \cdot m$ 付近の数値を示し、2200m から 3500m にかけては一部で低比抵抗値 (低い所で $15\Omega \cdot m$, 高い所で $50\Omega \cdot m$) を示し、3500m から 4500m にかけては徐々に比抵抗値が高くなっていることである。断層付近では比抵抗値が低く、断層から離れるに従って比抵抗値が徐々に高くなる傾向を示している。これらの特徴から 2500m から 3500m までの低比抵抗帯は、千屋断層の影響、つまり断層破砕帯と考えるのが妥当であろう。3500m 付近にも局部的に低比抵抗値を示すところがある。この部分は Fig. 2 に示した地質図の第三紀地質断層線とほぼ良い対応を示している。臼田ほか (1976) は時代差のある真昼川層と上川原層は、約 1000m の落差を持つ断層で直接接していると推定している。

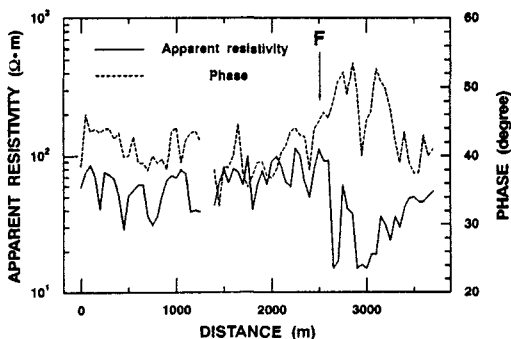


Fig. 4. The resistivity and phase curves of VLF survey. These curves show the result of ODR-line.

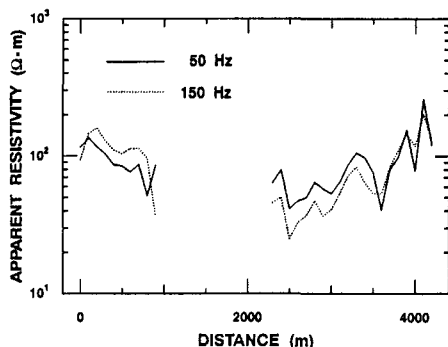


Fig. 5. Resistivity curves obtained by PL-MT method. They described the result of KMS line.

6. 考察

ここでは地表で観測された見掛け比抵抗と位相差のデータからモデル計算を行う。調査地域内にはボーリングされている場所 (42-AC14) があり、この地点は KMS 測線から南に 2 km ほど離れた千畑町一丈木地区の一丈木公園付近である。ボーリング地質柱状図と地質図 (Fig. 2, 臼田ほか, 1976) を総合して地質分類図を書くとき Fig. 6 となる。ボーリング調査結果には上川原層が確認されていない。また、KMS 測線付近には上川原層は堆積しているが上位

Age	Formation	Rock
Pliocene	Upper	Alternation pumice tuff and sandy tuff
	Middle	Conglomerate
	Lower	Conglomerate (with lignite)
Miocene	Kamikawahara Formation	Sandstone siltstone
	Mahirugawa Formation	Lapilli tuff and tuff breccia

Fig. 6. Geological classification from well logging data (42AC-14) and geological information.

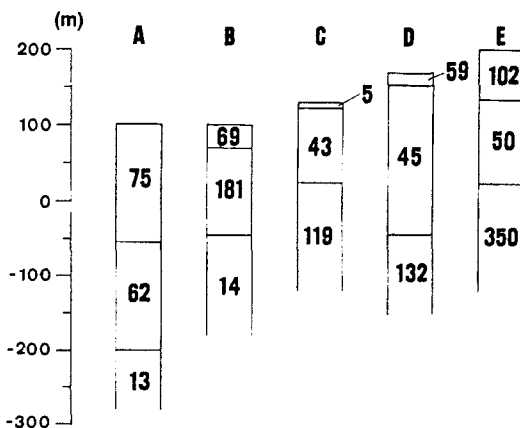


Fig. 7. Resistivity structure derived from one dimensional inversion method. Numbers in the figure are resistivity values in $\Omega \cdot m$.

A, B : western area of the fault.

C : above the fault.

D, E : eastern area of the fault.

の千屋層は堆積していないという特徴がある。モデル計算には KMS 測線のデータを利用するが、この付近の地層を大まかに区分すると第四紀堆積物と第三系の上川原層と真昼川層の 3 層であると考えられる。従って、3 層構造としてモデル計算を行った。

KMS 測線の測定値から、断層西部、断層直上、断層東部の地下比抵抗構造を求めた (Fig. 7)。手法は一次元インバージョンの方法である。Fig. 7 に示す C の比抵抗柱状図 (断層直上付近) に着目すると、1 層目が $5 \Omega \cdot m$ 、2 層目が $43 \Omega \cdot m$ 、3 層目が $119 \Omega \cdot m$ である。地質学的な情報と比較すると 1 層目は第四紀堆積物、2 層目が上川原層、3 層目が真昼川層であると考えられる。他の 4 つの柱状図の 1 層目と比較すると、断層直上付近だけ異常な低比抵抗部が見られる。また、断層付近の 1 層目の層厚は、ほかの柱状図の 1 層目の層厚に比較しても薄い。断層西側の 1 層目は西側になるにつれて層厚が厚くなっている。これは調査地域の西側は、地形学的にも大きな河川の河口部に作られた扇状地であるため堆積物が西側ほど厚く堆積しているものと考えられる。第 2 層目は各柱状図をみると $50-60 \Omega \cdot m$ であり層厚は $100-200m$ である。これは上川原層に相当すると思われる。なお、臼田ほか (1976) によれば上川原層の層厚は $100m$ 程度となっている。第 3 層目は各柱状図とも比抵抗値にはかなりのばらつきがある。断層直上部・断層東側では $100-350 \Omega \cdot m$ と高い比抵抗値を示し、断層西側では $10 \Omega \cdot m$ と低い値を示している。前者の高比抵抗については、東側には真昼川層の火山岩あるいは火山屑砕岩が分布しているので、この影響を反映しているものと考えられる。また、後者の低比抵抗は、扇状地付近の地下水の影響であると思われる。このように比抵抗異常からも断層による破碎帯の存在を確認することができる。

7. まとめ

プロトン磁力計による全磁力測定、VLF-MT、PL-MT による測定から断層に伴う破碎帯の位置、規模などが推定できることがわかった。活断層特有の電磁気学的な性格が明確になり、その基準を定めることが可能になれば今後の地震予知や地震災害防

止にもつながることが期待できる。今回の測定は比較的浅部の断層構造に着目して調査を行った。鈴木ほか(1992)も断層直上部において電気探査法を用いて地下数十m付近までの極めて浅所の構造調査を行っている。今後は深部構造についても明らかにしておくことが重要だと思われる。

8. 謝 辞

東北大学理学部三品正明博士と三井金属資源開発(株)奥住宏一氏には、VLF及びPL-MT測定機器を使用させて頂いた。また、観測では秋田大学大学院鉱山学研究科河野秀紀氏と菊山浩喜氏の協力を得た。

文 献

- Cagniard, L. (1953): Basic theory of magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophysics*, **28**, 605—635.
- 活断層研究会 (1986): 特集「日本の活断層発掘調査(その1)」, **3**, 65—73.
- 活断層研究会 (1991): [新編] 日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 122—127.
- 千屋断層研究グループ (1986): 千屋断層(秋田県)の完新世の活動と断層先端部の形態—千畑町小森での発掘調査—, 東京大学地震研究所彙報, **61**, 339—402.
- 鈴木浩一, 佐々木裕 (1992): 比抵抗法2次元インバージョン解析法の沖積地域層調査への適用, *物理探査*, **45**, no. 2, 81—95.
- 西谷忠師, 乗富一雄 (1984): MT法の観測システムについて, 秋田大学鉱山学部研究報告, no. 5, 33—39.
- 乗富一雄 (1981): 地球電磁気学的手法による断層活動度の研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, No. A-56-2, 58—91.
- 乗富一雄 (1990): MT法の基礎, 1—83.
- 坪田浩二, 則竹和光, 佐久間秀樹, 大屋峻, 斎藤章 (1987): 商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その1), *物理探査学会*, 昭和62年度秋期学術講演会講演論文集, 189—193.
- 坪田浩二, 則竹和光, 佐久間秀樹, 大屋峻, 志賀信

彦 (1988): 商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その2), *物理探査学会*, 昭和63年度春期学術講演会講演論文集, 293—298.

内田利弘 (1984): 断層調査のための電磁法の現状, *物理探査*, **37**, no. 5, 69—83.

臼田雅郎, 白石建雄, 岩山勝男, 秋元義人, 井上武, 乗富一雄 (1976): 秋田県総合地質図幅「六郷」, 秋田県, 7—65.

臼田雅郎, 村山進, 白石建雄, 高安泰助, 乗富一雄 (1980): 秋田県総合地質図幅「角館」, 秋田県, 7—46.