

地殻活動にともなう北海道東部域の地磁気変化  
西田泰典（北大理），宇津木充（京大阿蘇），茂木 透（北大理）

Tectonomagnetic study in the eastern part of Hokkaido, NE Japan  
Nishida, Y. (Hokkaido Univ.), M. Utsugi (Kyoto Univ.) and T. Mogi (Hokkaido Univ.)

Continuous and repeated geomagnetic observations in the eastern part of Hokkaido, NE Japan, delineated anomalously large secular changes of about 1 nT/year at 3 stations situated in the remarkable geomagnetic anomaly region. We proposed the changes originate from stress-induced tectonomagnetic effect (piezomagnetism): the tectonic stress due to the Pacific plate motion has been applied on the area concerned. A piezomagnetic modeling explained well the secular changes by assuming the stress sensitivity of the order of  $10^{-2} \text{ MPa}^{-1}$ , which is one order larger than the ordinarily used value.

We examined short-term geomagnetic changes related with the 2003 Tokachi-oki earthquake (M8.0) and the 2004 Kushiro-oki earthquake (M7.1). However, we could not find the precursory and co-seismic signals above 1 nT at a station whose epicentral distances were about 120 km and 50 km, respectively. Model calculations revealed that co-seismic piezomagnetic fields did not amount to 1 nT at the station in both cases when we assumed the relevant fault parameters, in-situ Curie temperature depth, subsurface magnetic structure and stress sensitivity of rocks. Therefore, it may be reasonable that we could not detect the piezomagnetic signals at the station.

We also made model calculations to forecast the piezomagnetic amplitudes caused by M7.9 and M8.5 earthquakes which have been predicted to occur along the southern Kurile trench in the future. The model calculations revealed the piezomagnetic fields up to about  $-4 \text{ nT}$  and  $-7 \text{ nT}$  were expected in the eastern part of the Hokkaido island for the M7.9 and M8.5 earthquakes respectively, encouraging magnetic observations hereafter.

1. はじめに

北海道東部域は，釧路沖，根室半島沖などで M7~8 クラスのプレート地震が発生する（Fig.1）と同時に，弟子屈地方などでは，いわゆる直下型の内陸地震

が発生する場である。北海道大学では、1972年からこれらの地殻活動に関係した地磁気変化を検出する目的で、厚岸(AKS)、標茶(SHI)において、プロトン磁力計による全磁力の繰り返し測定をおこなってきた。1996年からは順次測点数を増すとともに、連続測定に切り替え現在に至っている(Fig.2)。その研究結果を以下に報告する。なお、各観測点における地磁気変化は、地殻活動域から十分離れた女満別(MMB)地磁気観測所の値との相対値として表している。

## 2. 全磁力経年変化

全磁力経年変化については、女満別地磁気観測所による緑(MID)、厚床(ATK)での繰り返し観測結果を含め、Nishida et al. (2004)ですでに詳細に議論しているので、ここでは結果を箇条書きに纏めるに留める。(1)北海道東部域の3～30年間にわたる地磁気全磁力観測の結果、太平洋側の厚岸、厚床、根室(NMR)で、内陸部(北方無去(KKM)、標茶、仁多(NIT)、仁伏(NIB)、緑(MID))と比べてはるかに大きい経年変化(約1 nT/年)が観測された。(2)この経年変化異常域は振幅が $\pm 1,700$  nTもの顕著な磁気異常帯に属し、モデル計算の結果10 A/m程度の強い帯磁を持つ(おそらく)玄武岩質の岩体が地殻上部(表層付近から10km深程度まで)に分布すると推定された。(3)大きな地磁気経年変化は、太平洋プレートの運動による北西方向の圧力が、高帯磁岩体に経年的に加えられたための圧磁気効果によると結論された。またその振幅を説明するためにUtsugi (1999)およびUtsugi et al. (2000)による方法で3-D圧磁気モデル計算を行ったところ、高帯磁岩体は同時に応力感度が通常云われている値 $10^{-3}$ MPa $^{-1}$ より1桁程度大きいと推定された。

## 3. 地震時の全磁力変化

2003年十勝沖地震(M8.0)と2004年釧路沖地震(M7.1)(Fig.3)にともなう厚岸(AKS)における地磁気は、数時間程度の前兆的变化も、コサイスマックな変化も検出されなかった(Fig.4)。そのことの妥当性を検証するために、両地震の断層運動が如何なるコサイスマックな圧磁気効果をもたらすかモデル計算した(Fig.5a,b)。Fig.5aの影の部分は、高帯磁岩体の水平分布を示している。計算の結果、高帯磁域に小振幅の地磁気変化が期待された。しかしいずれの場合もAKSは変化のノーダルライン付近に位置し、地磁気変化が検出されなかったことは妥当であるという結論に至った。十勝沖地震の場合、AKSの北西で

最大-2 nT 程度の変化が期待できることが計算により示され (Fig.5a), 検出可能であったにもかかわらずその付近の観測点 (KKM, SHI) が休止中であったため確認できなかったことが悔やまれる。

#### 4. 想定地震で期待される全磁力変化

以上の成果をふまえ、今後予想される大地震の地震地磁気効果の観測研究に資するための予備的研究結果を述べる。2003 年十勝沖地震の後、プレート境界に沿ったゆっくりした滑りが東に伝搬していることを GPS 観測がとらえていたが、この滑りが 2004 年釧路沖地震の引き金となったと推測されている (例えば, Murakami, 2005)。この東向きのゆっくり滑りは、2004 年釧路沖地震発生の後でも進行しており、新たな地震の引き金になる可能性が高い。ところで、2003 年十勝沖地震では 1952 年十勝沖地震断層の西半分しか滑っておらず、東半分にまだ滑り残りがあると考えられている (Tanioka et al., 2004)。またかねてより、1973 年根室半島沖地震 (M7.4) は 1894 年根室半島沖地震 (M7.9) 以来蓄積された歪みエネルギーを十分解消していないことも指摘されている (Shimazaki, 1974)。以上のことから、地震調査研究推進本部 (2003) は、両地域が同時に滑るような地震が 30 年以内に発生する確率は 30%程度であると結論づけている。この想定地震に対し、1894 年地震の津波記録をもとに Fig.3 に示されるような低角逆断層モデルが提唱されている (Tanioka et al., 2006)。

この想定地震の他に、道東域にもう 1 つ巨大地震の再来が想定されている。Hirakawa et al. (2000) や Nanayama et al. (2003) による歴史津波堆積物の調査から、過去 2000~7000 年の間に 300~500 年間隔で巨大津波が発生していることが確かめられた。一番最近の発生は約 350 年前 (17 世紀) で、M8.5 の地震に相当する。来るべき巨大地震のメカニズムや規模を具体的に推定することはむづかしい。そこで 17 世紀の時と同様な地震が再び発生すると仮定し、津波堆積物の分布から津波波高分布を推定、さらにそれを再現するような最適断層モデルを推定すると Fig.3 のようになる (Satake et al., 2004)。低角逆断層で西側部分が 10 m, 東側部分が 5 m 同時に滑るようなモデルになっている。

そこで、以上の 2 つの想定地震による圧磁気効果を計算してみることにする。計算に必要なキュリー一点深度、磁化構造、応力感度などのパラメータは 2003 年十勝沖や 2004 年釧路沖地震の計算例と同じである。Fig.6a は 1894 年根室沖地震の再来を想定した場合に予想されるコサイスマックな地磁気変化で、最大

-4 nT が AKS の北に期待される。一方 Fig.6b に示すように、17 世紀の巨大地震の再来を想定すれば根室半島の北に-7 nT 程度の変化が、また AKS の北北西でも-4 nT 程度の変化が見込める。従って、最適の観測点配置をとれば現在の観測システム（感度 1 nT）でも十分コサイスマックな変化が観測され得る。そのため、廃点となった KKM 点の近傍に大別点（2006 年 6 月 11 日より）および AKS と NEM の中間の初田牛点（2006 年 6 月 12 日より）を新設し、既存の NMR, AKS, SHI, NIT, NIB と合わせて観測を続けている。Fig.6b にみる計算結果から、風蓮湖の北側あたりにも大きな磁気変化が期待されるので、別海点の増設を計画中である。

## 5. おわりに

以上の結果は、海域の地震の場合でも地震の規模が大きければ（M8 クラス）陸域でも最大 10 nT 弱のコサイスマックな変化を検出することが可能であるが、M7 クラスになるともうひと工夫する必要があることを示している。また大雑把に見積もって、100 年程度の地震繰り返し間隔を考えると、0.1 nT/年以下の経年変化しか見込めないため、肝心な地震前兆現象を検出するには現在の観測システムではむづかしい。前兆現象検出のためには（1）海底磁力計を投入して信号が大きい震源域に近づく（Utsugi, 1999）、（2）陸域でボアホール内の観測を行う、などが提案される。（2）は、圧磁気効果によりボアホールの壁に沿って磁極が発生するため、磁力計近傍で信号が増幅されることが理論的に期待されるからである（Sasai, 1994; Sasai et al., 2006）。

## 参考文献

Hirakawa, K., Y. Nakamura, and T. Echigo, Large paleo-tsunamis along the Pacific coast of Tokachi region, Hokkaido, *Chikyu Monthly*, Special issue, **31**, 92-98, 2000 (in Japanese).

地震調査研究推進本部, 千島海溝沿いの地震活動の長期評価,  
<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>, 2003.

Nanayama F, K. Satake, R. Furukawa, K. Shimokawa, B.F. Atwater, K. Shigeno, and S. Yamaki, Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench, *Nature*, **424**, 660-663, 2003.

Nishida, Y., Y. Sugisaki, K. Takahashi, M. Utsugi, and H. Oshima, Tectonomagnetic study in the eastern part of Hokkaido, NE Japan: Discrepancy between observed and

- calculated results, *Earth Planets Space*, **56**, 1049-1058, 2004.
- Sasai, Y., Enhancement of piezomagnetic signals within a bore-hole, in 'Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction', Ed. by M. Hayakawa and Y. Fujinawa, 51-54, *TERRAPUB*, Tokyo, 1994.
- Sasai, Y., M. J. S. Johnston, Y. Tanaka, R. Mueller, T. Hashimoto, M. Utsugi, S. Sakanaka, M. Uyeshima, J. Zlotnicki and P. Yvetot, Drag-out effect of piezomagnetic signals due to a borehole: The Mogi source as an example, *Annals of Geophysics*, **49**, 2006 (in press).
- Satake, K., F. Nanayama, and S. Yamaki, Source models of the unusual tsunami in the 17<sup>th</sup> century in eastern Hokkaido: part 2, *Rep. Active Fault and Paleoseismic Study*, **4**, 17-29, 2004 (in Japanese with English abstract).
- Simazaki, K., Nemuro-oki earthquake of June 17, 1973: A lithospheric rebound at the upper half of the interface, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **9**, 314-327, 1974.
- Tanioka, Y., K. Hirata, R. Hino, and T. Kanazawa, Slip distribution of the 2003 Tokachi-oki earthquake estimated from tsunami waveform inversion, *Earth Planets Space*, **56**, 373-376, 2004.
- Tanioka, Y., K. Satake, and K. Hirata, Recurrence of recent large earthquakes along the most southern part of Kurile-Kamchatka subduction zone, *AGU Monograph*, 2006 (submitted).
- Utsugi, M., A theoretical study on seismomagnetic effect considering the inhomogeneously magnetized Earth's crust, *Ph.D. Thesis, Hokkaido Univ.*, pp.128, 1999.
- Utsugi, M., Y. Nishida and Y. Sasai, Piezomagnetic potentials due to an inclined rectangular fault in a semi-infinite medium, *Geophys. J. Int.*, **140**, 479-492, 2000.

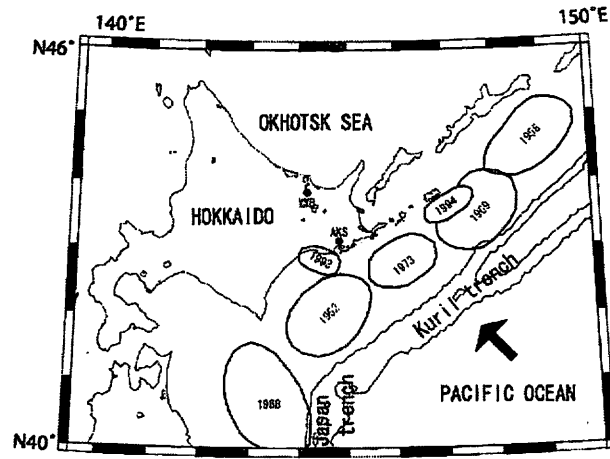


Fig. 1. Great and major earthquakes along the Kuril-Japan trench occurred in the 20<sup>th</sup> centuries. A bold arrow indicates the direction of the Pacific plate motion. AKS show a magnetic station while MMB (Memambetsu Magnetic Observatory of the Japan Meteorological Agency) represents the reference station.

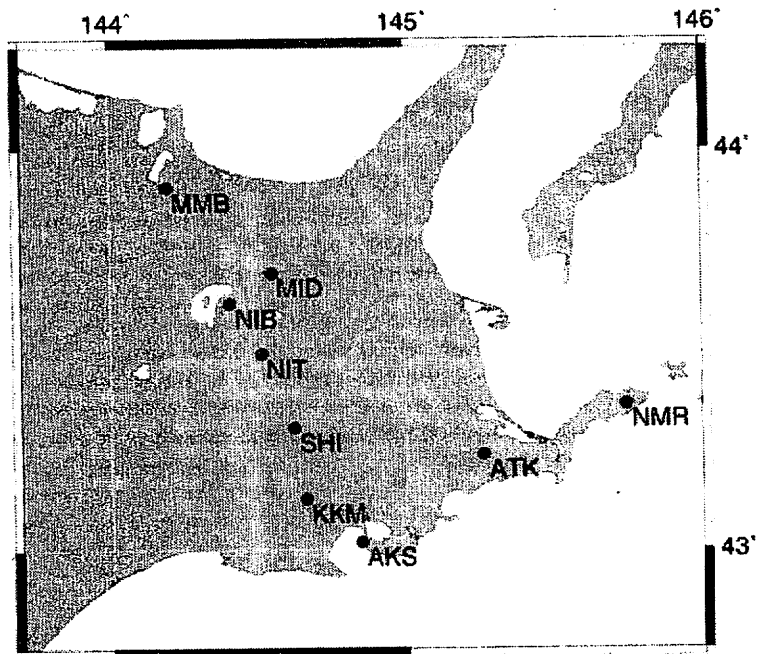


Fig. 2. Magnetic stations

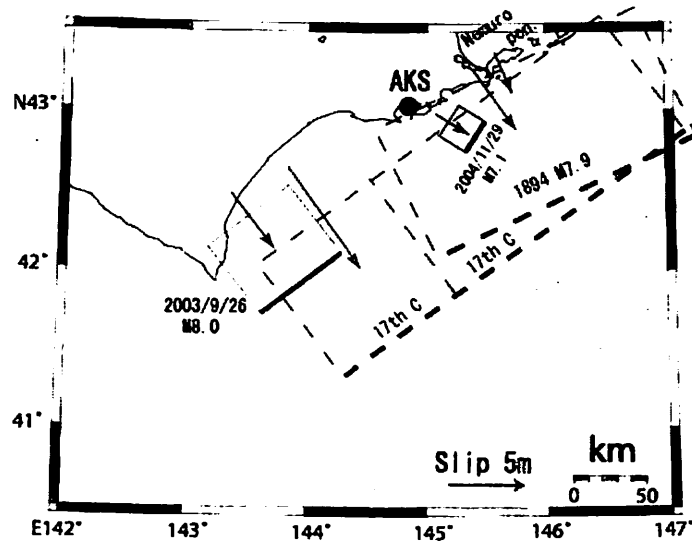


Fig. 3. The fault planes of the 2003 and 2004 events are projected onto the horizontal surface as shown by the solid squares, while those of the 1894 event and the 17<sup>th</sup> century event are shown by dashed squares. For the 17<sup>th</sup> century event, the fault plane is assumed to be subdivided into two parts; the eastern and western segments slipped 10 m and 5 m, respectively, to generate the M8.5 earthquake. Upper edges of the fault planes are shown by bold lines and dashes. Arrows represent the slip vector of the hanging wall.

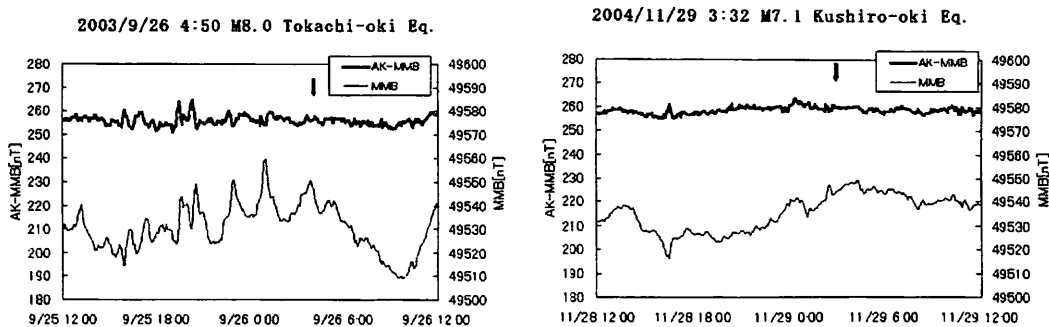


Fig. 4. Bold curves: differences of the total force intensity between AKS and MMB are shown for 24 hours before and after the 2003 and 2004 events. Thin curves: raw data of the magnetic total fields at the reference station (MMB). Vertical arrows show the occurrence time of the 2003 Tokachi-oki and the 2004 Kushiro-oki earthquakes.

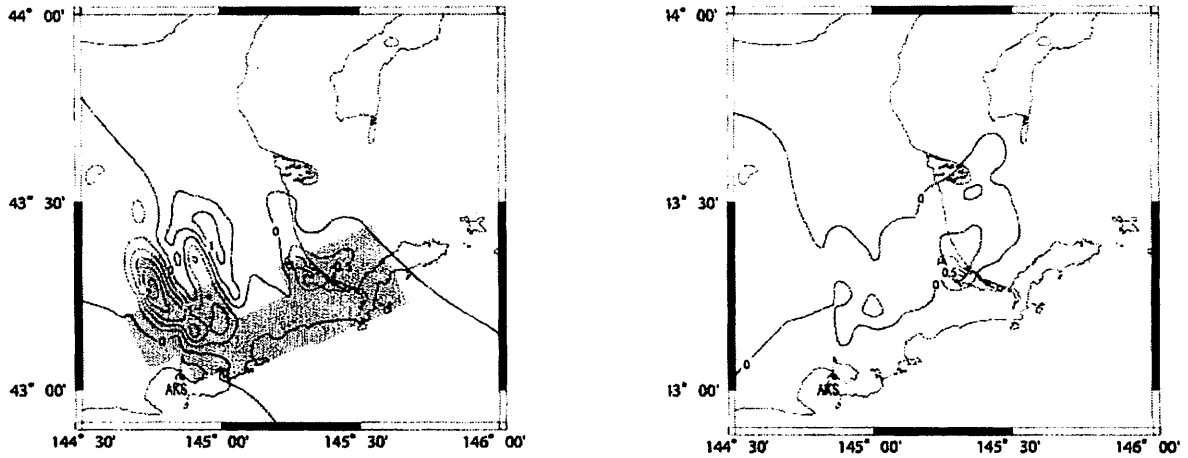


Fig. 5. (a) Calculated piezomagnetic fields caused by the 2003 Tokachi-oki earthquake. Shaded part represents a horizontal projection of the calculated highly magnetized blocks in the upper crust (Nishida *et al.*, 2004). (b) Calculated piezomagnetic fields caused by the 2004 Kushiro-oki earthquake. Contour interval is 0.5 nT.

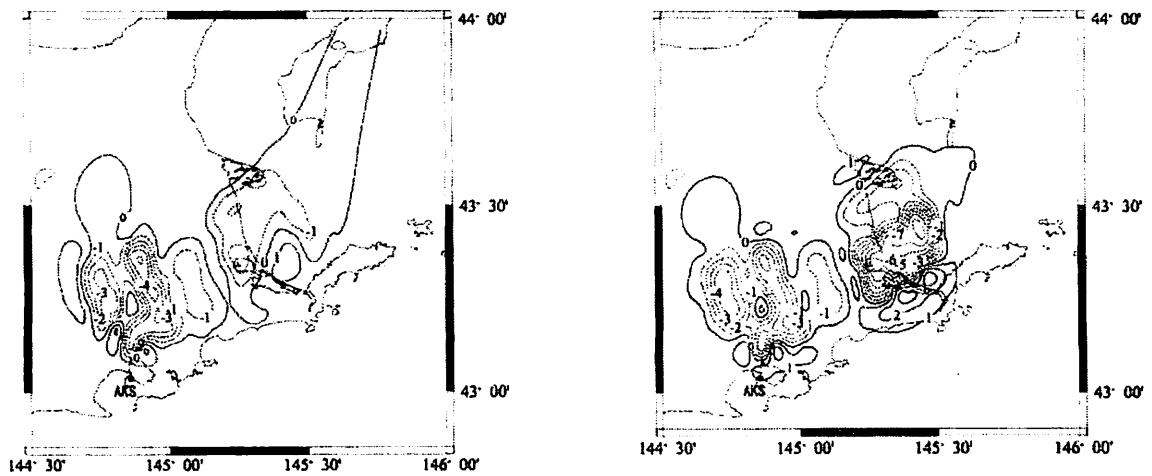


Fig. 6. (a) Calculated piezomagnetic fields caused by the 1894 Nenuro-oki earthquake. (b) Calculated piezomagnetic fields caused by the 17<sup>th</sup> century earthquake. Contour interval is 1 nT.