

地中鉛直ダイポール間のパルス地電流観測

白井 信正¹⁾・村上 裕¹⁾・榎本 祐嗣²⁾・橋本 寛³⁾

1. はじめに

大・中地震に先行して震央あるいはその周辺域で電磁波放射や発光現象など各種の異常現象が発生したといわれ、その報告も数多くなされている(力武, 1986)。一方、室内実験では岩石変形・破壊時にいくつかの手法で電磁場変動や発光現象が発生することが確かめられている(Nitsan, 1977; Brady *et al.*, 1986)。このことは、地震に先行した電磁気異常現象が観測される可能性を示すものといえる。

このような観点から地震前兆現象を捉えるための観測が国内外で数多く行われている。たとえば電気通信大学の芳野らは、1980年からアンテナを空中に張り、関東近辺の7ヵ所において36Hz, 1525Hz, 82kHzの電磁放射の継続計測を行い、1985年から1990年にかけての間の地震に関連したとみられる29例の電磁波放射を記録している(Yoshino *et al.*, 1993)。また、ギリシャ・アテネ大学のVarotsos教授らは、1980年頃から数十mから数kmの長・短基線電極間の地電位の計測を行っている。ギリシャの約20ヵ所に測線を張り地電位を計測して地震発生の日以内に前兆異常とみられる信号を記録している。彼らはこの信号をもとに、マグニチュード=5以上の地震の発生を確率約60%、震源誤差約100km以内、マグニチュード誤差約0.5以内の精度で予知に成功したとされている(Varotsos and Lazaridou, 1991; Varotsos *et al.*, 1993)。さらに防災科学技術研究所の藤縄らは、地下に埋設した300~800mのパイプをアンテナとして、関東近辺でULF, VLF帯の電磁波の観測を行っている。これまでの観測の結果、Ms>6以上の地震に対して異常な前兆現象を

検出している(Fujinawa *et al.*, 1993)。このほかにもこのような現象に着目して地震の短期予知への応用を目指して多くの研究がなされているものの地震との因果関係は明らかにされていない。

地震発生に関連する電磁気現象発現メカニズムとして多くの仮説が提唱されている。主なものとしては、破壊領域における流体(液相, 気相)の移動に起因するもの、岩石中の石英結晶の圧電効果による一次的原因を求めるもの、岩石に微小なクラックが生じるときに固体表面から発生する電子放出仮説に基づくもの、岩石破壊に伴う内部摩擦・接触帯電などの双極子変動、あるいはそれらの複合効果などが挙げられているが異常電磁気現象の特徴を説明できる定説となるものは確立していない。

筆者らは旧機械技術研究所において、破壊に伴う電荷放射(フラクトエミッション)や破壊誘起過渡電流の計測を試みてきた。これらの電気信号の負の勾配が1 μ 秒よりも早い変動であることから、放射線計測などに利用されているのと同様な方式による電荷の高速変動成分を検出する電荷検出器を用いて岩石の押し込み破壊試験、剪断破壊試験、圧縮破壊試験を行い、顕著な電荷変動を確認した(Enomoto *et al.*, 1989)。

この種の現象を野外において捉え地震前兆過程における電磁気異常現象を明らかにすることを目的に、1994年より(株)コムテック、北海道大学、(株)日立製作所などと協力して、電荷検出システムの野外展開を図り、地電流のネットワーク観測を開始、継続してきた(Enomoto *et al.*, 1997)。このシステムは、襟裳観測点で有珠山の噴火に関連する可能性のある地電流変動を捉えることに成功するなど、地震・噴火予測のための有用な手段になり

1) 産総研 地球科学情報研究部門
2) 信州大学 繊維学部
3) 株式会社 コムテック

キーワード: パルス地電流, 地震, 火山



第1図 稼働中の地電流観測ステーション.

うる可能性を示した (Hashimoto *et al.*, 2002). 本観測システムは2003年より、旧地質調査所において長年行われてきた地震研究との連携を強めるため、地球科学情報研究部門に引き継がれ観測を継続している。観測を継続しているステーションは第1図に示すように北から、襟裳 (1998年2月～)、つくば中央 (1994年8月～)、茅ヶ崎 (1997年1月～)、鋸南 (1999年1月～)、富士川 (1999年1月～)、清水 (1996年9月～)、大阪府池田市 (2000年11月～) の合計7カ所である。このほか、日立大甕おおみかに設置したステーションは1997年1月から稼働を開始し5年あまりデータ収集を継続したが都合により2002年10月に撤収した。

これまでに太陽活動、電離層に由来する長期変動、気象変化による季節変動による信号のほか1996年末から1997年4月頃までのつくば中央観測点や2000年2月から2001年3月頃までの襟裳観測点における顕著な地電流の異常を観測した (Murakami *et al.*, 2003)。

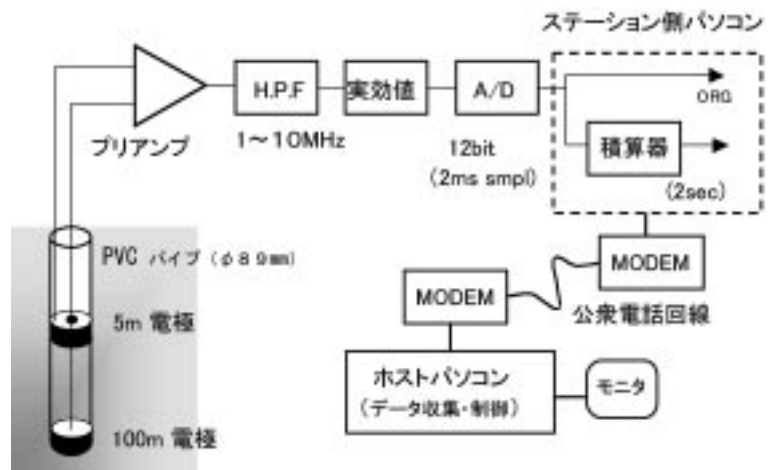
2. 観測システムの概要

観測システムの構成を第2図に示す。このシステムは、地下に埋設したダイポール系、地上の電荷検出機器系と通信系からなる。観測

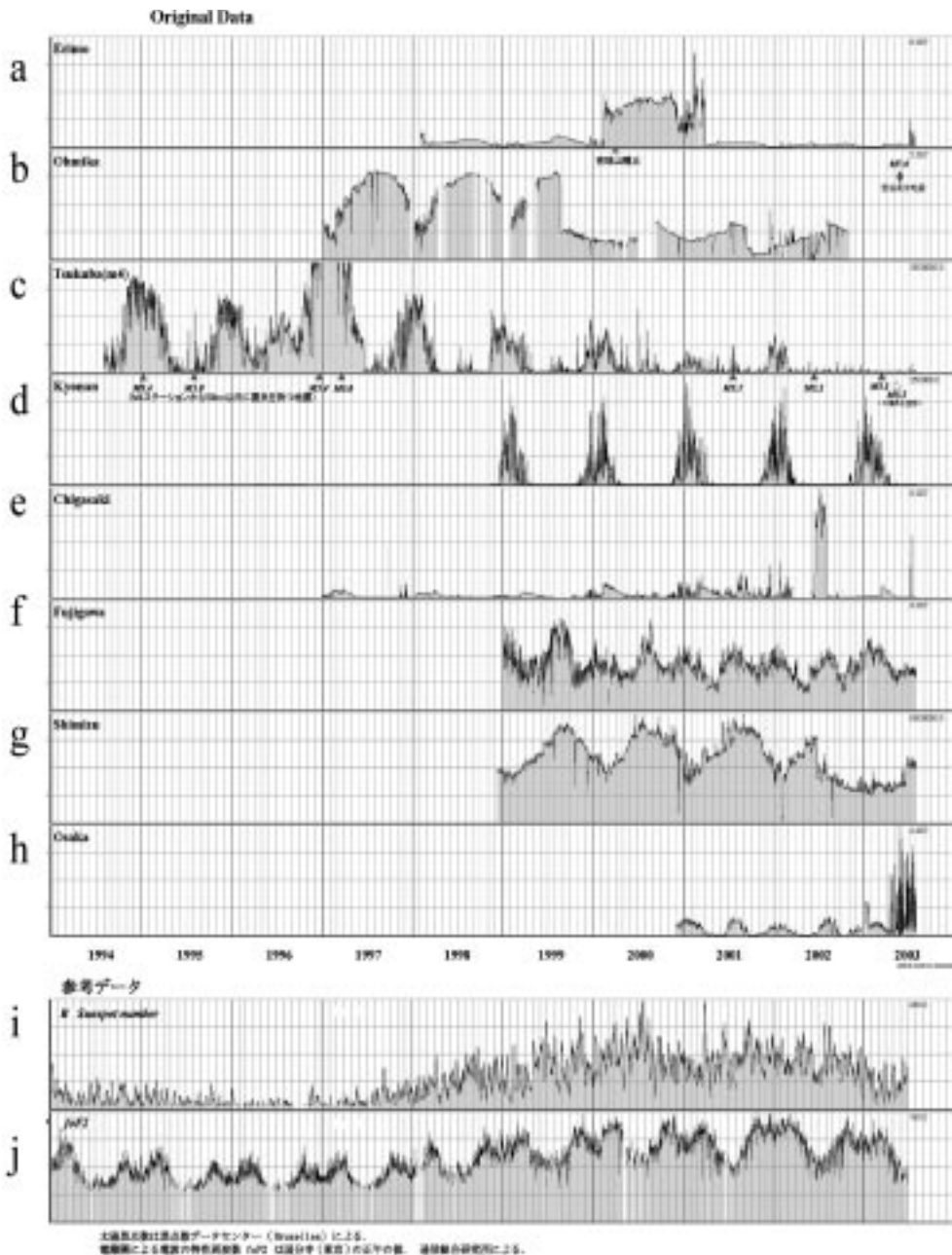
場所の電磁気環境条件によって、深度約5mの電極と深度約100mまたは約50mの電極とでダイポールを構成した。地下水が豊富な地層で地表の商用周波数50Hzの電磁気信号が地下に浸透する深さ(表皮深さ)は50m程度と見積られる。そこで地表の商用周波数帯の電磁気擾乱を避けるために、一方の電極を表皮深さよりも深い50m以深に埋設しているものである。また、このダイポール間に誘起される地電流の早い変動成分を観測するために、放射線計測などで使用されているパルス電荷の検出法を採用した。すなわちダイポール間に誘導される電荷をカップリングコンデンサまたはパルストランスを介して負帰還増幅器に導き、コンデンサ(数pF程度)にため込む。さらに増幅して1ms毎に積分した信号をホストコンピュータに取り込み、さらに2秒間隔で積算しデータとして記録する。電話回線で接続されたターミナルコンピュータでデータの監視と転送、観測機器の制御を行っている。

信号表示の方法として次の3つの種類がある。

- (1) データとしてホストコンピュータに取り込まれているオリジナル信号、
- (2) 2秒毎の差分をとり微弱信号の変化に対する感度を上げる Differential 信号、
- (3) 雷放電などランダムで不連続に変化する信号を抽出するフィルタ(ホストコンピュータに備え付けで常備モニターに使っているので Default フィルタと呼んでいる)は異常変化の識別を容易にする。



第2図 パルス地電流観測システム.



第3図 各ステーションのパルス地電流の長期変動(オリジナル信号), 縦軸の信号強度は任意目盛. (a) 襟裳, (b) 大甕, (c) つくば, (d) 鋸南, (e) 茅ヶ崎, (f) 富士川, (g) 清水, (h) 池田, (i) 太陽黒点活動(黒点数データセンター:ベルギー・ブルッセルによる), (j) 国分寺における電離層の電波特性周波数(通信総合研究所).

3. 長期・短期の周期的変動

第3図(a) - (h)に8ヵ所の観測ステーションすべての長期信号記録を示した。比較のため太陽黒点活動ならびに電離層による電波の特性周波数

(foF2:通信総合研究所のデータによる)を示している。

各観測ステーションのオリジナル信号は季節変化を示し、つくば、鋸南では冬期に顕著な極大を示す一方、襟裳や清水では夏場に顕著な極大を示

し、観測点により同位相であったり逆位相であったりする。このことは、領域間で地電流回路が形成されている可能性を示唆する。

最も長期間の観測が行われているつくば(M4)のオリジナル信号の冬期の極大は1994年以降漸減してきている(第3図c)。また襟裳や大甕でも類似の傾向が見られる(第3図a, b)。これに対して太陽黒点の活動は1996年より漸次増加している(第3図i)。すなわち、黒点の活動期に冬期の地電流信号は抑制される傾向にある。

また、電離圏の電波特性周波数変動データ(第3図j)は太陽活動に連動した長周期変動を示しているが、仔細には冬期の極大に2つの山が見られ、富士川での変動はそのような変化に連動しているようにも見える。

次に日周期の変動をみるため、第4図に1997年1月9-12日と同じ年の8月9-12日の大甕、つくば、鋸南のオリジナル信号を比較したものを示す。大甕の信号は冬期には昼間のバックグラウンドが極大を示し、夏期には反転して昼間が極小になる。また冬期にはつくばと鋸南の信号の極大極小は大甕の信号変動と逆位相の関係にある。しかし夏期になると、大甕と鋸南とが同相になり、つくばはそれと逆相の変動になる。これらの地域間に地電流の循環があり、またそれは季節により循環路に変化があ

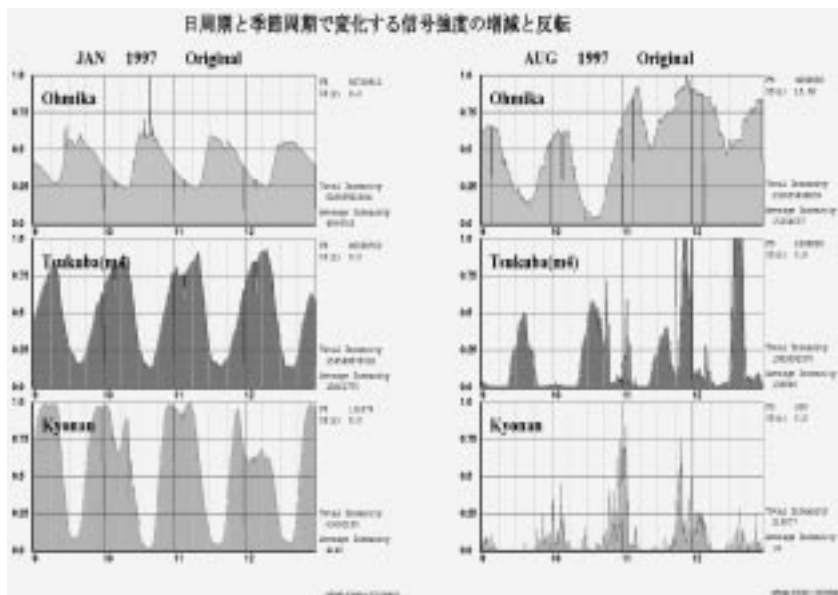
ることを示唆している。

4. 気象の影響-とくに落雷-

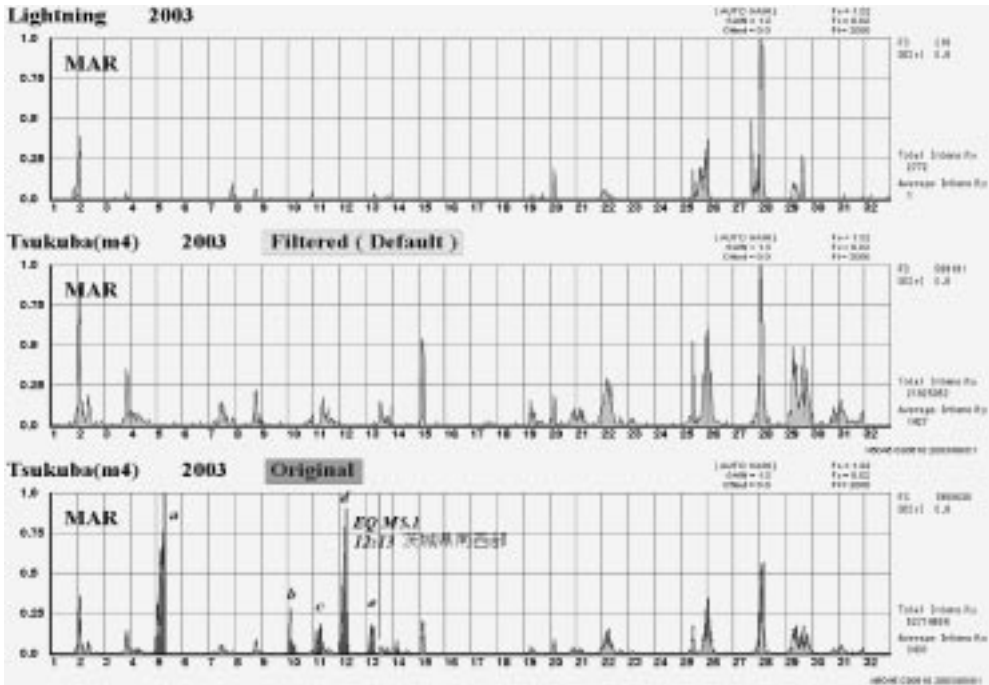
われわれの採用した観測法は、降雨の影響を受けにくい構成となっている(Enomoto *et al.*, 1997)。一方オリジナル信号は落雷の影響を受けている。その感度は、落雷の発生地域により異なる(Tsutsumi *et al.*, 1999)。落雷の影響を抽出するための手法がDefaultフィルター処理である。第5図に2003年3月の落雷(フランクリンジャパンによる)、Defaultフィルター処理信号、オリジナル信号を比較した。第5図上と中とは比較的良好に一致しており、Defaultフィルター処理により落雷による信号を抽出することができていることがわかる。一方同図下には、落雷による信号以外の信号ピーク(第5図中のa-e)が記録されている。これらの信号のあとに茨城県南西部地震(M=5.1)が発生しているが、地震との関わりを論じるには、現時点ではデータが不十分である。

5. 1996年12月から1997年4月にかけてのつくばにおける異常信号

第6図に示すように、1996年12月頃から1997年4



第4図 日周期の変動特性。1997年1月(左)と1997年8月(右)の9-12日の大甕(上)、つくば(中)、鋸南(下)のオリジナル信号。



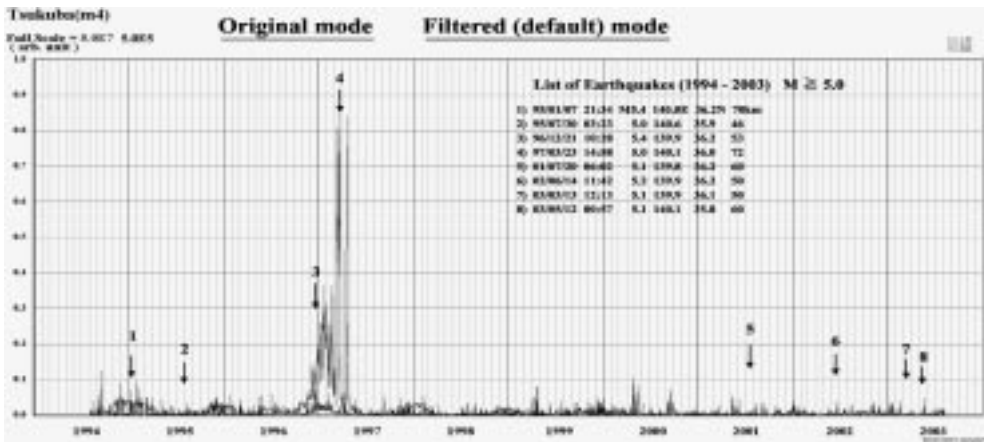
第5図 つくばにおける2003年3月の(上)落雷(フランクリンジャパンによる),(中)デフォルトフィルター処理,(下)オリジナル信号.

月頃にかけてつくばにおけるオリジナル信号が異常に増加した. その強度は, 冬期に現れる極大値の最大で28倍になる. またこの異常は約4ヵ月続いた.

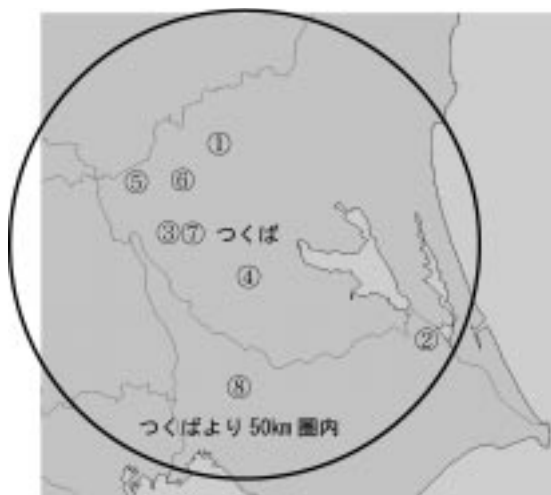
これに同期した異常信号は, つくばの観測ステーションから2km離れた同じつくばにある別の観測ステーション(現在は使用していない)でも記録されていた(Hashimoto *et al.*, 2002). このオリジナル信号の異常変動は, defaultフィルター処理を施す

と消尽する. 従って落雷による異常ではない. また, 太陽活動, 電離層の異常によるものとする情報もない.

この電磁気異常の原因について考察してみる. この時期は茨城県南部, 南西部付近で地震活動が活発であった. 例えば1997年3月23日から29日にかけての1週間の間にM=5.0, 4.0, 4.1, 3.9の4つ地震が続いた. つくば観測点から震央までの距離



第6図 つくばにおける長期観測データ. 図中の矢印・番号は, 観測点から震央が50km圏内にあるM5クラスの地震を示す.



第7図 つくば近辺における1995年から2003年までのM=5クラスの地震震央(図中の番号は第6図の地震の番号に対応)。

は10km程度である。しかし観測点付近(50km圏内)をみるとM=5以上の地震は、第6図ならびに第7図の地図上に示すように、異常変動の見られなかった1995年1月と1995年7月に2回、さらに最近では2001年3月から2003年5月までに4回、合計6回起きている。

とくに観測点から震央が近く、ほぼ同程度の規模の④と⑦の2つの地震に着目すると、震源の深さは⑦の方が浅い。そして観測点から震源距離は④の地震で68km、一方⑦の地震で54kmである。後者の震源距離が短いにも関わらず異常はこのときには記録されていない。従って地震のマグニチュードと震源までの距離だけで、1997年前半の異常を説明することはできない。

今後この地域における地電流の異常変動と地震との関連を明らかにするためには、たとえば地震の発震機構などの震源位置やマグニチュード以外のパラメータとの関連や地下の電気的な構造の違いなどについて慎重に検討していかなければならないと考えている。

6. 2000年2月から2001年3月頃までの襟裳における異常信号

有珠山は2000年3月27日から地震活動が活発化しはじめ、3月31日に噴火した。1977~1982年の

2004年4月号



第8図 有珠山と襟裳観測点との位置関係。

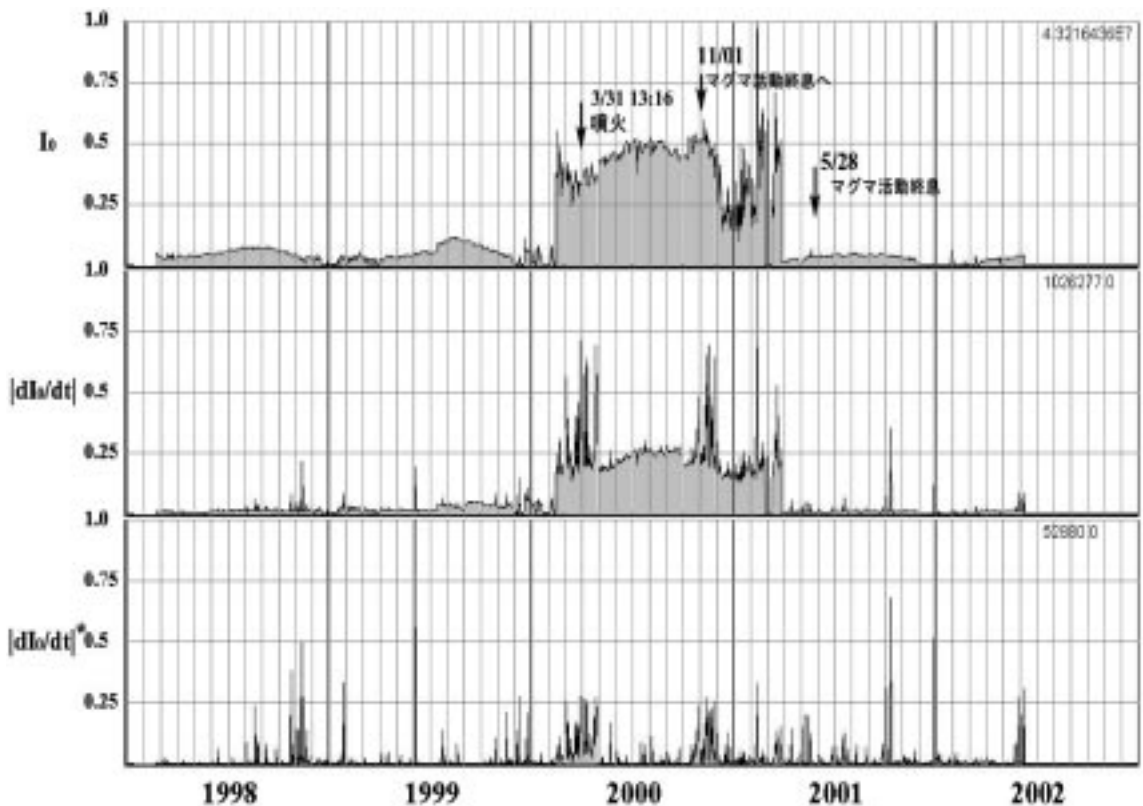
噴火活動以来23年ぶりの活動であった。火山活動は4月頃から消長を伴いつつも沈静化の方向に向かった。7月10日には「深部からのマグマ供給はほぼ停止、一連のマグマ活動終息へ」(臨時火山情報第21号)、11月1日には「一連のマグマ活動終息へ、火口から500m程度範囲で警戒必要」(同第23号)との火山噴火予知連の統一見解が示され、翌年5月には「マグマ活動が終息した」との発表がなされた(気象庁, 2002)。

有珠山で活発な火山活動が見られている頃、有珠山から約200km離れた襟裳の観測ステーションで異常な地電流変動を観測した。第3図(a)から分かるように、襟裳の地電流信号は2000年2月16日頃から2001年3月頃まで明らかに異常な増加を示している。第9図に、この時期におけるオリジナル、differentialフィルター処理、ならびにdefaultフィルター処理した信号を示す。第8図に有珠山と襟裳の観測点との位置関係も合わせて示した。なお、2001年2月末前後の急激な信号低下は欠測による。

この異常が出始めてから11日後に有珠山において地震活動が活発化した。またこの異常変動は2001年3月20日過ぎにはほぼ平常値に戻ったが、これは2000年11月1日に臨時火山情報第23号において「一連のマグマ活動終息へ」との予知連統一見解が出されてから約5ヵ月後である。

7. その他の異常信号

第3図に示した8観測点での長・短周期変動から



第9図 2000年3月28日から4月4日までの襟裳ステーションの地電流変化，上：オリジナル信号，中：differentialフィルター処理信号，下：defaultフィルター処理信号。

外れる異常変動がいくつか注目される。例えば、
 ①大甕における2000年，2001年の夏期の極大が殆ど見られなかったこと，
 ②清水における2002年の夏からの信号が減衰したこと，
 ③大阪における2003年からの異常変動，などである。③の大阪の変動は，観測ステーションの傍で，鉄筋の4階建ての建屋が建設中であり，電気溶接などのノイズが載っているものと思われる。①と②については，いずれも日立製作所の工場敷地内にあるもので，工場における活動などにも留意し，継続した観測から判断してゆく必要があると考えている。

8. まとめ

地中に埋設したダイポール間に誘起されるパルス地電流を1994年から2003年にかけて襟裳，つくばなど8ヵ所で継続観測を行ってきた。バックグラウンド信号は太陽活動や電離層活動，ならびに雷活動により長周期・季節周期の変動を示した。そ

れらの信号よりはるかに強い異常信号が1996年末から1997年始めにかけてつくばで，また2000年始めから約1年にわたって襟裳で観測された。これらの異常信号の発生時期はそれぞれ，つくばにおけるM=5クラスの地震活動，有珠山の火山活動の活動時期と一致し，その関連性が注目される。

地震・火山活動と電磁気異常の関連性は活動の予測という点で関心がもたれる。その実証には，同様の現象の繰り返し観測による検証が望ましく，そのためにはさらに長期にわたる観測の継続と体制の整備が必要になる。

参 考 文 献

Brady, B.T. and G.A. Rowell (1986) : Laboratory investigation of the electrodynamics of rock fracture, *Nature*, 321, 488-492.
 Enomoto, Y. and H. Hashimoto (1989) : Fractoemission during indentation fracture of brittle solids, *J.Mater Sci Lett*, 8, 1107-1190.
 Enomoto, Y., A. Tsutsumi, Y. Fujinawa, M. Kasahara and H. Hashimoto (1997) : Candidate precursor pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan, *Geophys. J.*

- Inter., 131, 485-494.
- Fujinawa, Y. and K. Takahashi (1993) : Anomalous subsurface vertical electric field changes in VHF and UHF bands by use of borehole antennas, 防災科学技術研究所研究資料, 第157号, 109-117.
- Hashimoto, H., Y. Enomoto, A. Tsutsumi and M. Kasahara (2002) : Anomalous geo-electric signals associated with recent seismic activities in Tsukuba and volcanic activity at Mt. Usu in Hokkaido, in: Seismic Electromagnetics, Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling, Ed. By M. Hayakawa & O. A. Molchanov, Terra Sci. Pub., Tokyo, 77-80.
- 気象庁 (2002) : 2000年有珠山噴火の活動経過-2000年3月~2001年5月, 火山噴火予知連絡会会報, 第77号, 11-24.
- Murakami, Y., H. Hashimoto, N. Shirai, T. Nakatsuka and Y. Enomoto (2003) : Considerations on the anomalous observation of the pulse geo-electric current during February 2000 and March 2001 supposedly associated with the eruption of Usu volcano, Abstracts Weel A, IUGG 2003, JSA10/30A/A10-008.
- Nitsan, U. (1977) : Electromagnetic Emission Accompanying Fracture of Quartz-Bearing Rocks, Geophys. Res. Lett., 4, 333-336.
- 力武常次 (1986) : 地震前兆現象-予知のためのデータベース-, 東京大学出版会.
- Tsutsumi, A., Y. Enomoto and H. Hashimoto (1999) : Relationships between geo-electric charge signals and meteorological lightning, Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes, Ed. M. Hayakawa, Terra Sci. Pub., Tokyo, 557-590.
- Varotsos, P., K. Alexopoulos and M. Lazaridou (1993) : Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals; II, Tectonophys., 224, 1-37.
- Varotsos, P. and M. Lazaridou (1991) : Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, Tectonophys., 188, 321-347.
- Yoshino, T., I. Tomizawa and T. Sugimoto (1993) : Results of statistical analysis of low-frequency seismogenic EM emissions as precursors to earthquakes and volcanic eruptions, Phys. Earth Planet. Interiors, 77, 21-31.
-
- SHIRAI Nobumasa, MURAKAMI Yutaka, ENOMOTO Yuji and HASHIMOTO Hiroshi (2004) : Observation of geo-electric pulse current from a vertical dipole buried underground.
-

< 受付 : 2004年2月18日 >