

地球電磁気学的方法による地震予知研究の推移

行 武 毅

東京大学地震研究所

(1992年6月30日受理)

自然界にはさまざまな電磁現象がおこっている。地震の前後でも著しい電磁現象が観測されたという報告が数多くある。地震のおこる過程を電磁気学的立場から研究し、地震の前にどのような電磁現象が起こるかを明らかにできて、実際に地震発生に直接関連した電磁現象が観測されれば、地震予知の具体化に大きく貢献するに違いない。このような期待をもって、地球電磁気学的方法による地震予知研究が進められてきた。この分野の研究においても、この20年程の間に顕著な進展が見られた。

活断層や地殻の電氣的磁氣的構造についてあらたな発見があり、断層の近くでは、この構造上の発見を基礎に予測されるような電気抵抗、自然電位、地磁気などの変化が観測された。そのほかにも地震の前後で、電磁放射の異常や岩石の電気抵抗変化などの電磁気現象が観測された。以下にこれらの研究の進展とその背景にある考え方について簡単に述べる。

1. 断層活動に関連した比較的短期間の電磁気変化

1970年代の研究によって活断層の電気抵抗構造および磁氣的構造が明らかになった。この構造の特徴をもとに観測計画をたて、地震の前後で電気抵抗、自然電位、地磁気の変化が観測された。

(1) 活断層の電磁氣的特徴

活断層の特徴として

- (a) 断層に沿って電気抵抗が低い、
- (b) 断層が磁氣異常帯になっている、

という二つの点が明らかになった。この特徴は多くの断層で確かめられている。その例が図1、図2(山崎断層電気抵抗)、図3(千屋断層電気抵抗)および図4(千屋断層磁氣異常)に示してある。

電気抵抗が低いのは、断層に沿って発達した破砕帯が大量の水を含んでいるためである、と考えられる。これにたいして、断層沿いになぜ磁場の強い異常帯ができるか、についてはまだ結論がでていない。断層に分布するサーペンティンが関係している可

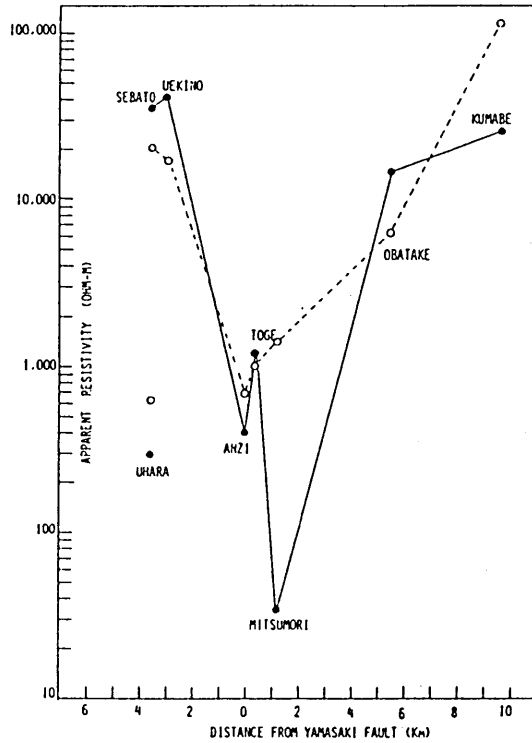


図1. 山崎断層. 見かけ比抵抗プロフィール.

能性がある。硫化物がサーペンティン化するには水が必要であり、断層破碎帯の水がサーペンティンの生成に一役かった可能性も考えられる。

(2) 活断層の近くでの電磁気変化

活断層が電気的にも磁気的にも異常な構造を持っていることが明らかになり、断層域で電磁気の観測をすれば地震のさいに異常な変化が検出できよう期待される。実際、山崎断層や伊豆の断層では地震の起こるまえから電気抵抗(図7、図8)や自然電位(図6)、地磁気(図5)に異常変化が観測された。

これらの前兆的变化は地震のまえに起こったと推定される断層に沿った地下水の流れや、断層への応力の集中によって引き起こされたと考えられる。いっぽう、地殻内応力変化によって引き起こされる地磁気変化についての理論的研究が著しく進展し、今後、観測を実施するうえで大きな指針をあたえることになった。

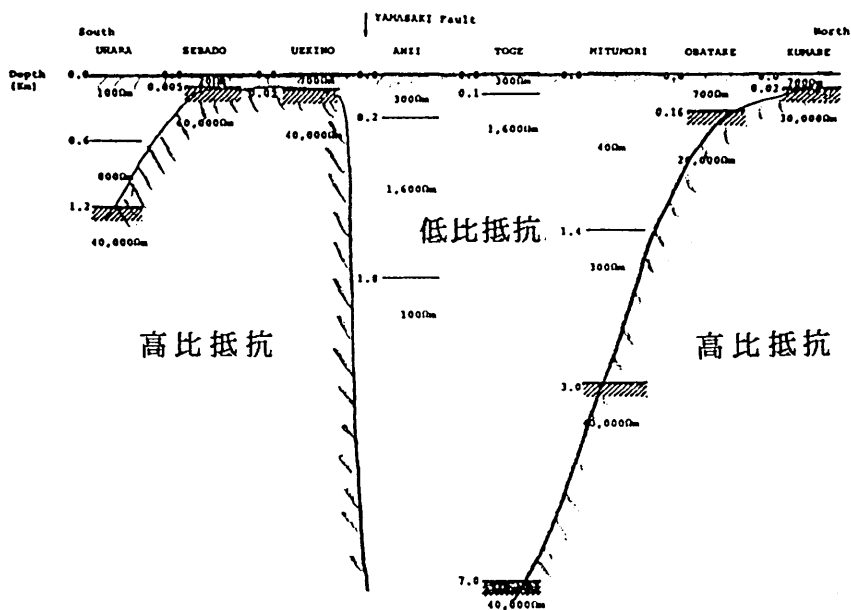


図2. 山崎断層電気抵抗構造断面図.

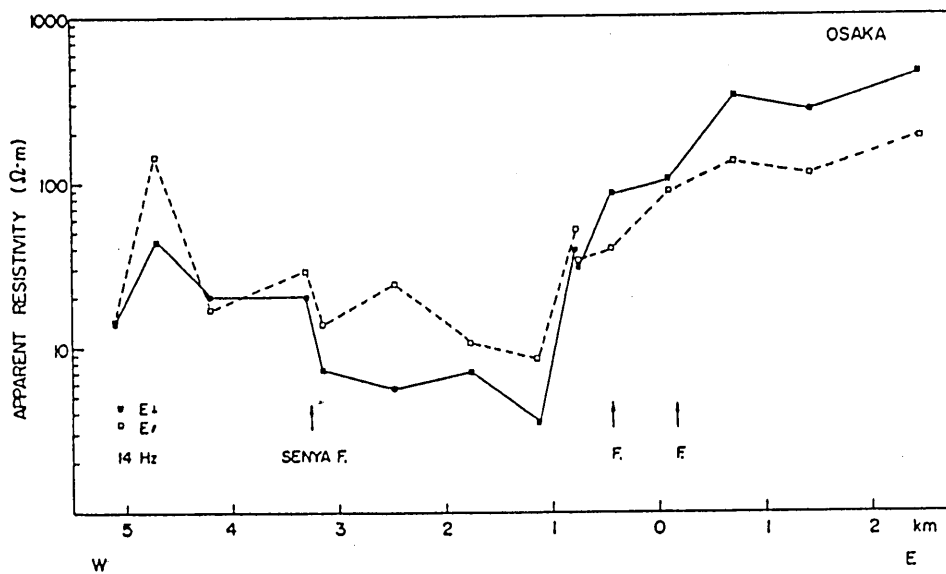


図3. 千屋断層. 見かけ比抵抗プロファイル.

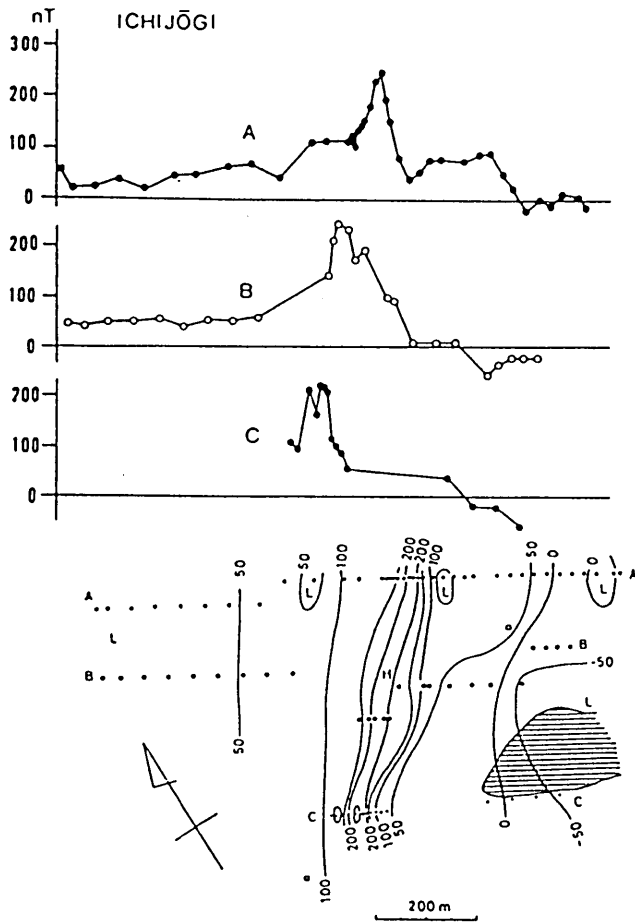


図4. 千屋断層に沿う磁気異常帯.

(3) 今後の対策

過去約10年間の観測研究によって、地震にともなって起こる数カ月から数日の比較的短期の電磁気変化はきわめて局地的なものであることがわかった。どこでも変化が観測できるわけではない。したがって、地震に敏感に反応する特異点を選んで、密度の高い観測網を展開する必要がある。特異点としては活断層が考えられる。将来地震を起こしそうな活断層で高密度で連続観測を行うことが大事である。

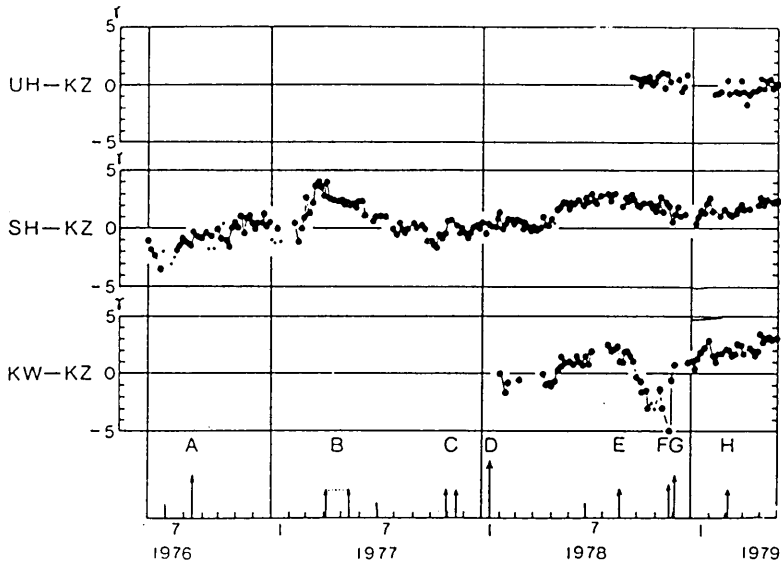


図5. 伊豆半島河津で観測された地震に先立つ地磁気変化。

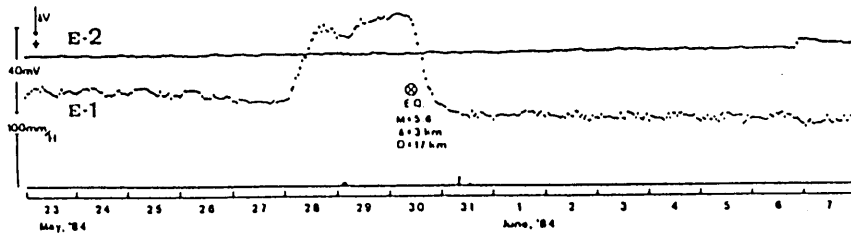


図6. 山崎断層では地震の起こる50時間前から電位変化が観測された。

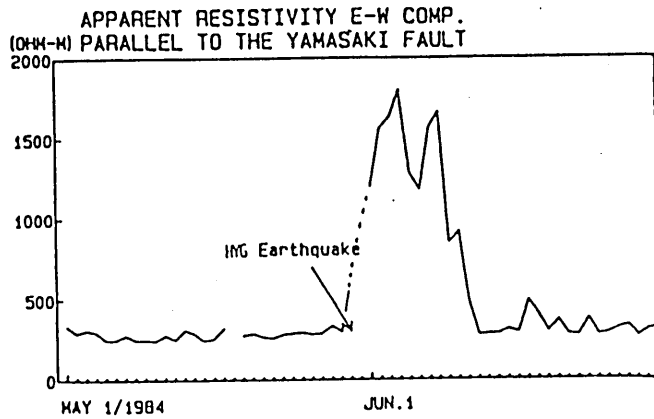


図7. 山崎断層での電気抵抗変化。地震後の変化は特に著しい。

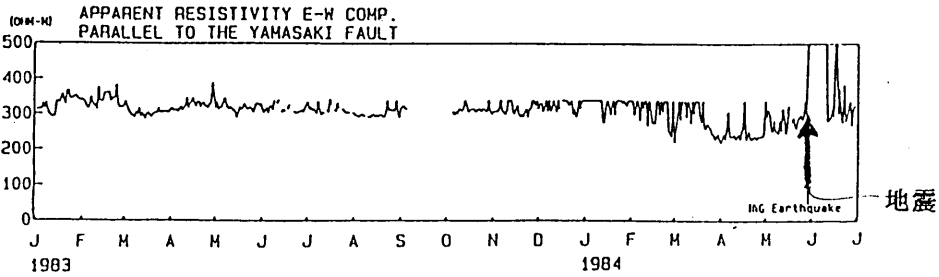


図8. 山崎断層では地震発生の2ヶ月前から異常な電気抵抗変化が観測された。

2. 地殻活動に関連した地磁気の長期的変化

第1次地震予知研究計画以来続けられているのが、地磁気の観測である。地殻の応力変化にしたがって地磁気の変化が期待されるからである。磁気測量の繰り返しとプロトン磁力計による連続観測がこの計画の二本柱である。地殻歪に関連した地磁気の長期的変化(地磁気永年変化)の報告がいくつかなされた。

たとえば、1970年代のなかばに始まった伊豆半島およびその周辺域の活発な地殻活動に関連して伊豆大島では全磁力の異常変化が10年以上続いた(図9)。1989年に起こった伊東沖海底火山噴火のさいも、その数年前から異常な変化が観測された。地磁気の長期的変化の観測はその地域の地殻活動を見るうえで重要な役割を果たす。

地磁気の長期的変化は比較的広域の地殻の状態を反映していると見られるが、それでも数km離れると変化の様子が違ってくる。数kmの範囲に2-3点の観測点が分布することが望ましい。しかし、全国をこのような高密度の観測網で覆うことは不可能である。いくつかの地殻活動域を選んで重点的に高密度観測網を展開することが必要となる。

3. 内陸地震の震源過程の解明にむすびつく研究

活断層が低比抵抗帯になっているのは、多くの断層で確かめられたが、低比抵抗帯が鉛直方向にどの深さまでのびているかは、まだ把握されていない。地殻の電気抵抗分布を調べたところ、この10年程の間に地殻の下部に抵抗の低い領域があり、ここでは地震の起こり方が少ないことが明らかになった。

(1) 下部地殻の低比抵抗と地震の起こり方

地殻の上部は一般的に抵抗が高いのにならして、地殻の下部には抵抗の低いところのあることがみいだされた(図10)。さらにこの低比抵抗帯は地震の起こっていない領域に対応していることがわかった。多量の水が含まれているか、温度が高かして、地殻が延性化している可能性がある。

このような低比抵抗帯と地震の起こり方の対応関係は東北日本、中部日本、四国などで確かめられた。図11は四国の電気抵抗構造と震源分布を示す。

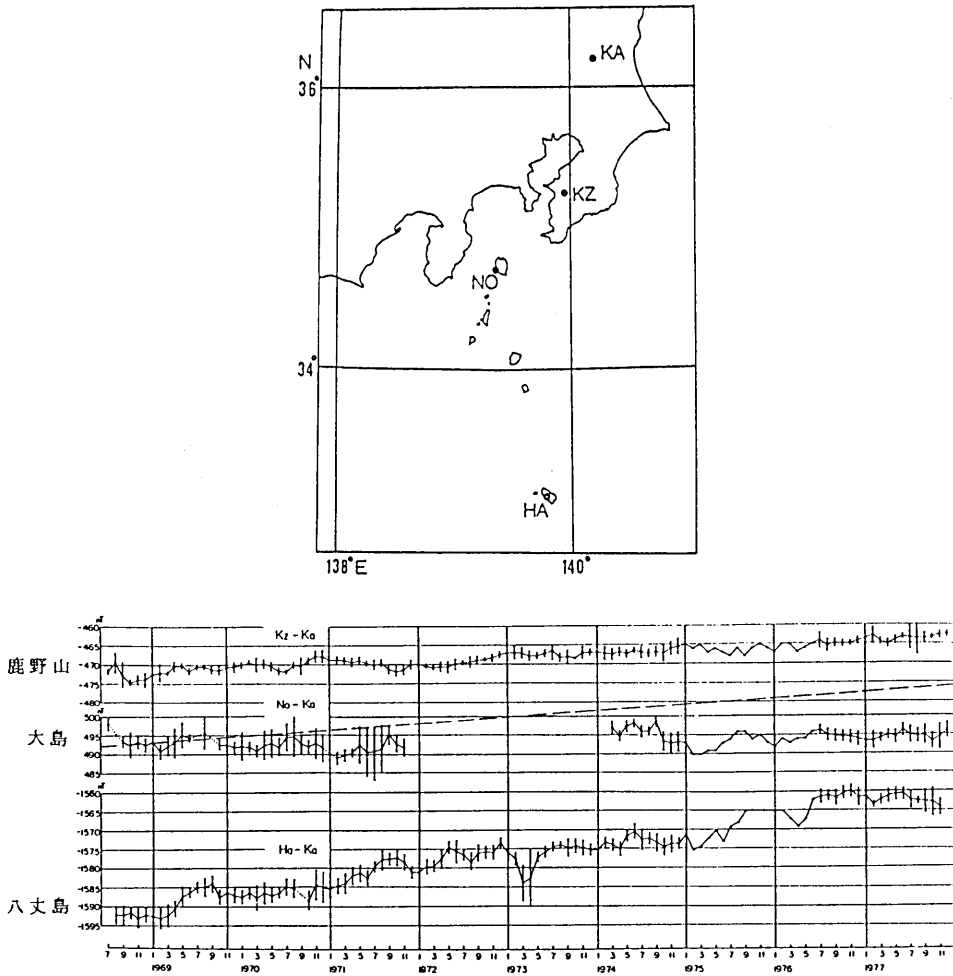


図9. 伊豆大島では10年以上にわたって地磁気の異常な変化が観測された。これは伊豆半島および周辺地域の活発な地殻活動に関連していると思われる。上図は観測点の分布(KA: 柿岡, KZ: 鹿野山, NO: 伊豆大島野増, HA: 八丈島)。下図は柿岡を基準とした鹿野山, 大島, 八丈島での全磁力変化。伊豆大島の全磁力は正常なら破線のように変化したと思われる。破線と観測値のずれは、1974年から始まった伊豆半島および周辺地域の活発な地殻活動を反映していると推定される。

(2) 今後の課題

前に述べたように活断層の表層部数 km は断層沿いに発達した破碎帯に含まれる水のために低比抵抗帯となっている。もし断層が下部地殻まで達しているとする断層沿いの低比抵抗帯は下部地殻の低比抵抗層にまでつながっているのであろうか。

下部地殻の低比抵抗層は水が原因でできているとすると、大規模断層は下部地殻と

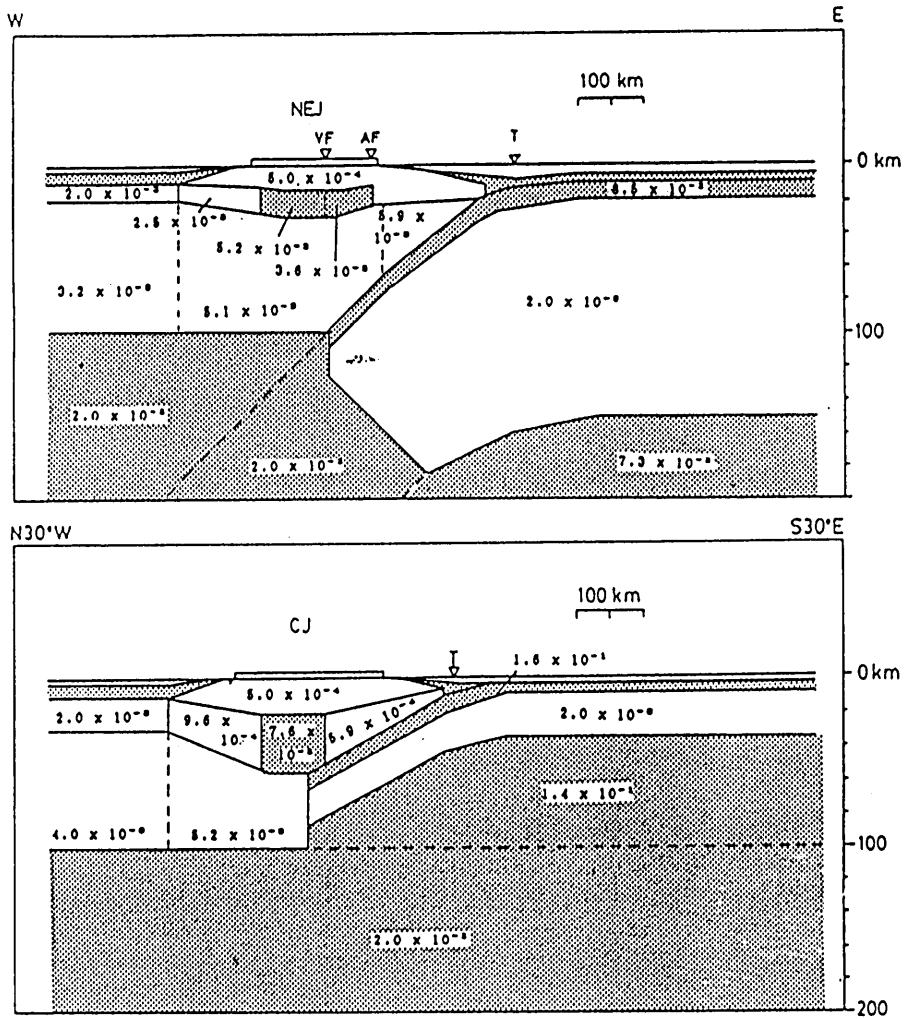


図10. 電気抵抗構造(電気伝導度構造)断面図。上は東北日本、下は中部日本で、陰影部分が抵抗の低いところ。東北日本下部地殻の低比抵抗域の東の境界は Aseismic Front(AF)と一致している。

地層の帯水層を結ぶ水の通路となっている可能性が考えられる。断層はまた水平方向への水の通路ともなり得る。地震発生のひとつのシナリオを考えると断層の一部が固着していたとして応力の蓄積集中が起こると、水を含んでいた割れ目が拡大して固着して割れ目が開き、下部地殻から供給される水が移動し破壊に至る、という過程が考えられる。

このような考えに立てば、活断層の低比抵抗帯はどの深さまで続いているのか、上部地殻の高比抵抗域と下部地殻の低比抵抗域の境界はどのような形をしており、どの程

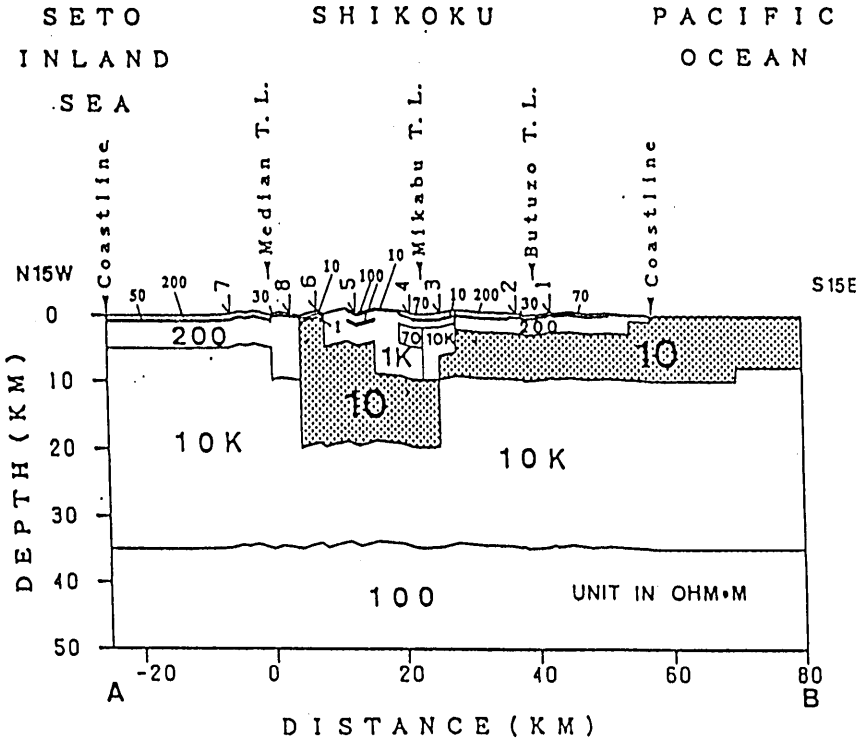


図 11(a). 四国を横断する電気抵抗断面図。陰影部が低比抵抗。

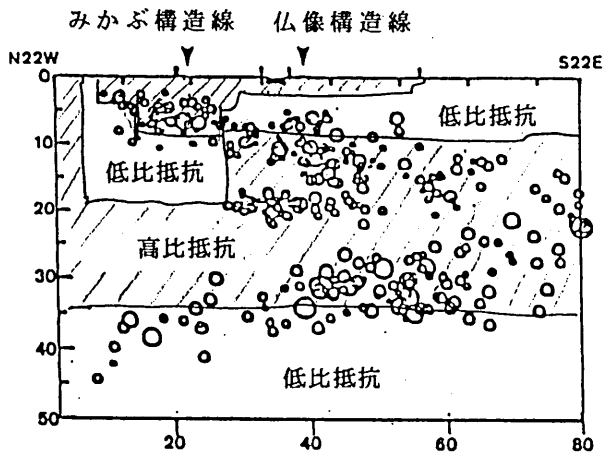


図 11(b). 四国を横断しての震源分布。低比抵抗域では地震が少ない。

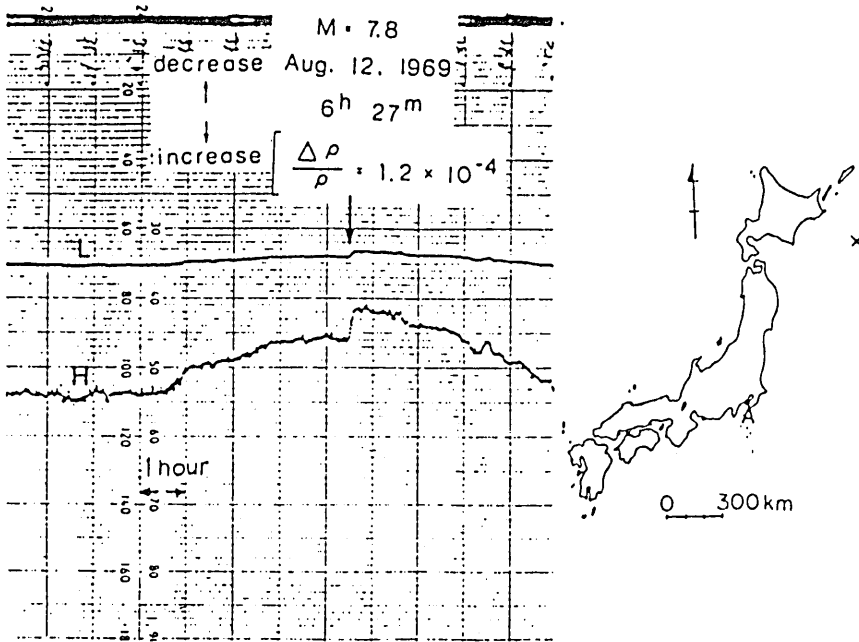


図 12. 神奈川県油壺で観測された地震の際の岩石電気抵抗変化。

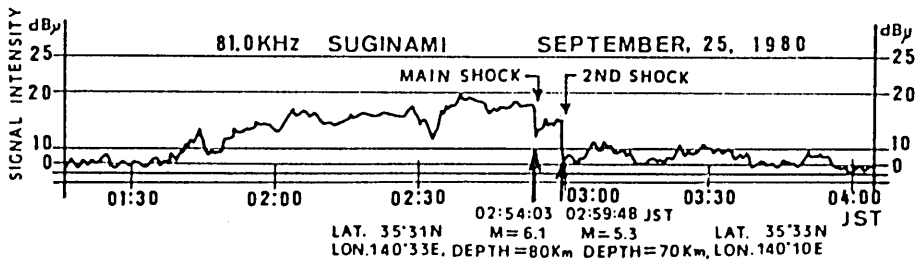


図 13. 地震発生の約 1.5 時間前から異常に高まった電磁放射ノイズ。

度急激に比抵抗が変化をしているのか、などを明らかにするのがまず重要である。この境界層付近の電気抵抗変化を連続観測して地震の前に水の通路が繋がった時に変化を検出できれば内陸地震の予知に役立つと考えられる。

4. その他の地震発生前後での電磁気現象

地震に伴って、岩石の比抵抗変化や異常電磁放射が観測された。

神奈川県油壺では、地磁気変化や、地殻電気抵抗変化のほかに、地震に伴って岩石の比抵抗変化や異常電磁放射が観測された。地震のさいに海の近くで凝灰岩の電気抵

抗の連続観測を実施しているが、地震に伴って変化するのが数多く観測されている(図 12)。また電磁放射の連続観測を実施して、地震の起こる 1-2 時間前から、そのノイズレベルが増加するのがいくつかの地震について認められた(図 13)。これらの現象については、その発生機構を明らかにするような観測例を増やし、発生過程についての基礎研究を推進する必要がある。

5. 今後の問題点

地震にともなう電磁気現象は、地磁気の変化にしても電気抵抗あるいは自然電位の変化にしても、きわめて局地的であることがこれまでの研究で明らかになった。比較的広域の地殻の現象を反映している地磁気永年変化ですら、1 点での観測は数 km の範囲の変化を代表するに過ぎない。場所を選んで、密度の高い観測を実施する必要がある。また、下部地殻直上での水の移動を、電気抵抗変化なり自然電位の変化なり、何らかの形で検出できれば、内陸地震の予知につながると期待される。