

立山線の電車のレール漏れ電流を利用した 地電位差観測と地殻変動のモニタリングの試み

山口 透¹⁾、丹保俊哉¹⁾、酒井英男¹⁾、長尾年恭²⁾、飯田 肇³⁾

1. はじめに

大地に電極を埋設して電極間の電位差を測定する観測は、地電位差または地電位の観測と称されている。地電位差は、大地の電気比抵抗と流れる電流に依存して変化し、また地磁気の変動や雷等の空電に伴って、導電体としての大地の電磁誘導でも変化する(酒井ほか、1999)。さらに、岩石で知られる様に圧縮に伴う電気発生もあるので、地震の際に大地の電気物性を通して地電位差に変動が誘導される可能性も考えられる。

富山大学では、理化学研究所および東海大学地震予知研究センターとの共同研究により、地電位差観測を、岐阜県神岡町の大多和地区(図1)において、1997年12月より行っている。大多和地区は跡津川断層のほぼ直上に位置しており、現在も微小地震活動が認められる同断層の活動と地電位差の関係を調べる目的で、観測研究を実施してきた。

地電位差の観測結果には雷等の空電に伴う変動や、人間活動に伴う変動がしばしば認められる。地電位差観測を地震等のモニターとする場合には、こうした変化はノイズとなり、一般には除外されて研究が進められる。しかしノイズの特性を研究することも必要との考えで、我々はノイズの解析も試みている(酒井ほか、1997;丹保他、2002)。

本稿では、地電位差観測に現われる変動において電車のレール漏れ電流の影響を述べ、それを利用する地震のモニタリングの可能性を触れる。

2. 地電位の観測方法と観測例

地電位差の観測には鉛—塩化鉛平衡電極を用いており、大多和地区では、100m四方程度の範囲に合計12本の観測測線を設定している。測定値はデータロガーSES96により毎秒値として記録され、一般公衆回線を通じて東海大学及び富山大学へ回収して研究に用いて

いる。

図2の上には、地電位差の1日変化の代表例として、2000年6月16日に東西測線で観測された結果を示している。下の図は、磁気嵐が発生していた2000年7月11日に観測されたデータであるが、地電位変動が非常に大きい。磁気嵐の地磁気擾乱により大地が強い電磁誘導を受けていたのである。この様に、地磁気変動によっても地電位は変化する。

2-1. 電車運行と地電位差変化

地磁気の静穏な日の地電位差にも規則的な変化が認められている。図3の上には、図2の四角で囲んだ6

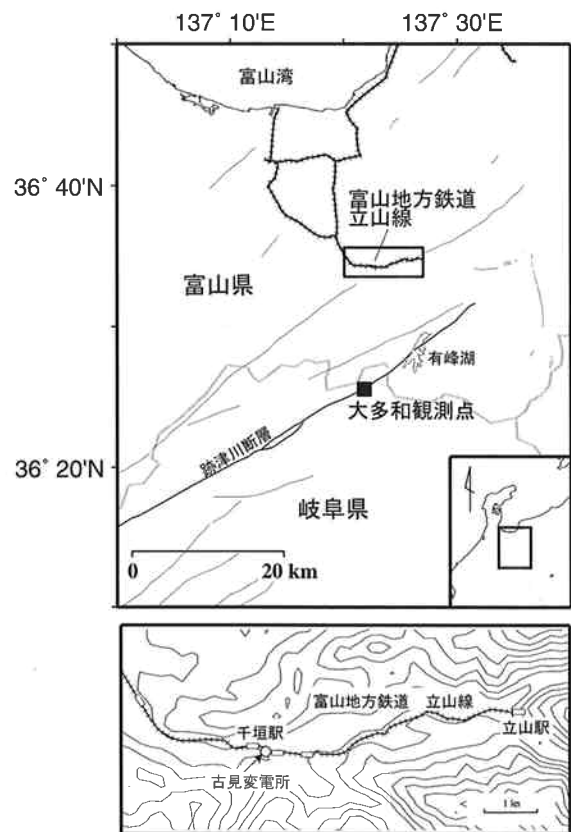


図1. 岐阜県神岡町の大多和地区の地電位差観測点と富山地方鉄道立山線
下: 立山線の四角で囲った範囲

¹⁾富山大学、²⁾東海大学、³⁾立山カルデラ砂防博物館

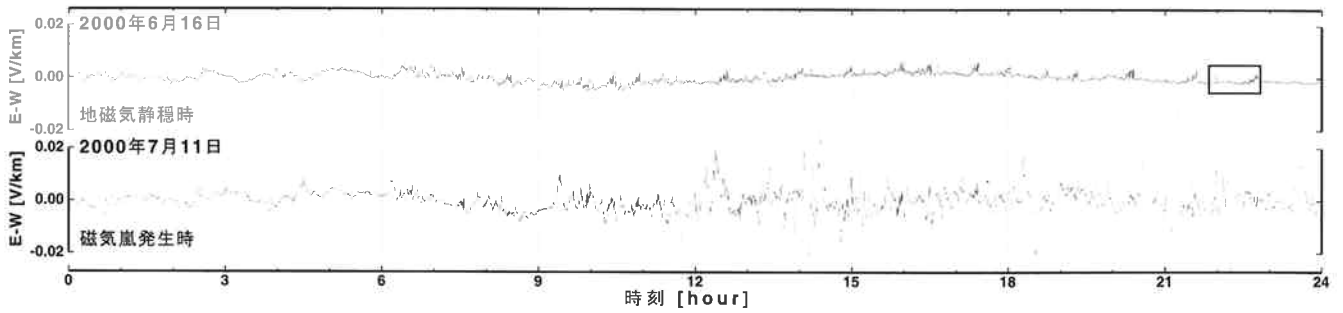


図 2. 大多和地区の地電位差の観測例

上：2000年 6 月 16 日の記録 下：2000年 7 月 11 日の記録

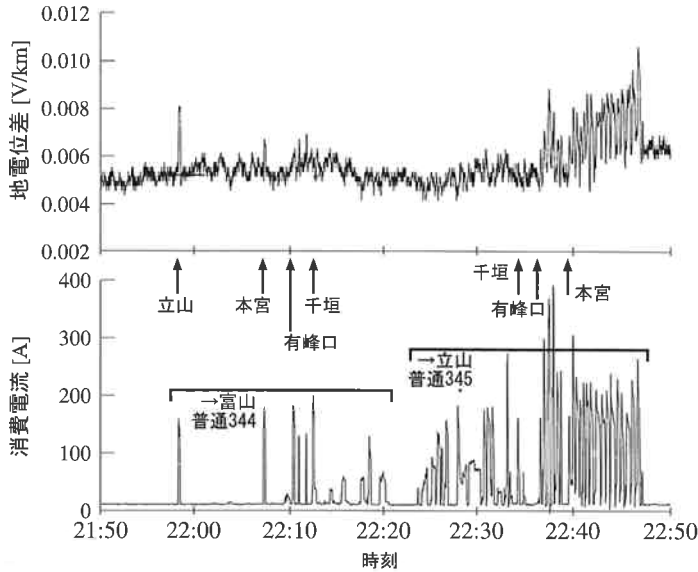


図 3. 地電位差と電車消費電流の変動の比較

上：2000年 6 月 16 日の 21 時 50 分から 1 時間の地電位差 (図 2 の四角の範囲)
下：小見変電所における電車の消費電流の変動

月 16 日の 21 時 50 分から 1 時間の観測値を示したが、スパイク状の変化が認められる。大多和観測点は山中にあり、近くには人間活動に伴う人工ノイズの発生源はほとんどない。変化を誘導した原因として、近傍を走る電車から漏れる電流の影響を検討した。

北陸飛騨地域を走る鉄道として、JR 北陸本線と高山本線および富山地方鉄道がある。前者の 2 つの鉄道は、交流き電方式とディーゼル方式であり地電位への

影響は少ない筈であり、実際に観測結果との対応は無かった。大多和から最短 16 km の距離を走る、富山地方鉄道の立山線 (図 1 下) は直流き電方式であり、地電位差に影響する可能性が考えられた。そこで地方鉄道の関係者に、研究のための資料をお願いした。

図 3 の下には、立山線に電力を供給する小見変電所における消費電流の記録を示している。地電位差は、変電所の消費電流と対応して変化している。図には列車の各駅での出発時刻も示したが、地電位差に現れたノイズは特に、千垣駅から立山駅へと勾配を登る列車 (普通列車 345) の各駅出発時刻とよく一致する。有峰口から立山までの走行中に漏れ電流が多く、地電位変化も大きい。おそらく本宮—立山間の軌道蛇行がきついため、頻繁なノッチ操作により消費電流が増加していることが理由と思われる。

これに対し、勾配を下る列車 (富山行き普通列車 344) では、走行中のモーター負荷は小さく漏れ電流も少ないため、駅の出発時以外に地電位への影響は無かった。

3. 電車の漏れ電流による地電位差変化

電車は出発時と登りに電力を消費し、停車時に車両バッテリーに電力を充電する。図 4 の様に、電力は変電所から架線を通して電車に供給され、レールを通して電流は戻る。その際の大地への漏れ電流は、レールに沿って変化する。

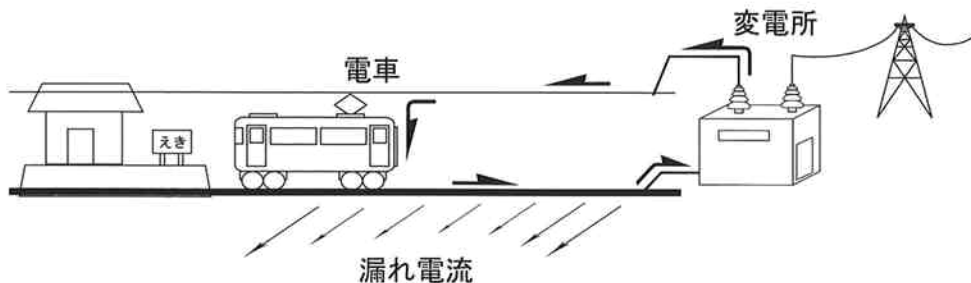


図 4. 電車の漏れ電流のモデル

電車運行に使用する電流電圧は大きいので、レールからの漏れ電流(供給電流)もかなりの量となり、また切り替えの on/off に伴う数秒から数分の周期性を持つため、10km以上離れた地点まで減衰せずに、地電位差に現れる広範囲への影響を及ぼすと考えられる。

3-1. 漏れ電流を利用した比抵抗調査

電車の漏れ電流の大きさが判れば、地電位差変化との対比から、電車路線と地電位差観測点の間の、大地の電気比抵抗を求めることができる(宮腰・西田,1984; 笠谷他,1996)。

大多和地区の観測結果から大地の比抵抗の解析を行った。計算に必要な変電所の消費電流は、富山地方鉄道で保管されている電流記録を参照した。また解析にあたり、レール抵抗は 4.0×10^{-2} ohm-km、漏れ抵抗は1.0 ohm-kmとした(電気学会・電食防止研究委員会,1997)。

こうして求められる観測点とレール間の大地の比抵抗は、地下を均質と仮定した見かけの電気比抵抗である。電流源と観測点の距離に依存する深度を反映しており、今回のデータでは、深度約9 kmまでの比抵抗を見ていると考えられる。

3-2. 大地の比抵抗とその他の変動の比較

図5は、1998年4月～2000年6月までの地電位差、大地比抵抗と地震活動などの時間変化を示している。図中の空白は、観測機器の故障によるデータ欠損である。

観測期間を通した平均の比抵抗値は1020 ohm-mであった。後藤他(1995)は、大多和付近の電磁気探査から、跡津川断層両側で1000 ohm-mの比抵抗を報告している。今回の解析は、断層北側の深さ9 kmまでの比抵抗構造を求めているが、得られた1020 ohm-mの抵抗値は探査結果と一致している。地電位差観測により、より広範囲の大地の比抵抗を観測していたと言える。

図(c)では1998年4月からの2年間に、飛騨富山地域で起きた、マグニチュード4以上の地震の時間変化を示している。図6には、同期間の観測点周辺および跡津川断層における地震の震源分布を載せている。

(1) 図をみると、1998年8月頃に岐阜県長野県境の上高地付近に群発地震があるが、電

流記録の欠損期間であり、残念ながら比抵抗との対応は読み取れない。2000年2月上旬に微小地震が生じているが、比抵抗には変化は見られなかった。地震活動との対応に関しては、今回の観測期間において、跡津川断層や周辺での地震活動は静穏であり、大地比抵抗への影響も少なかったと考える。

(2) 欠損期間はあるが、秋頃に極大となり春先に極小となる比抵抗の変動が認められる。これは、大地の電気物性の気温や湿度の変化に伴う季節変動を捉えている可能性がある。

(3) 大多和観測点の北東約6 kmには、北陸電力のダム湖である有峰湖(貯水量は2億2千万トン)があり、跡津川断層上に位置している。図(b)の比抵抗の変動には、湖の水位変動(図(d))と正の相関が見られる。有峰湖の水位変動が跡津川断層や近傍地域の水循環と連動していれば、大地比抵抗の変化から、断層の

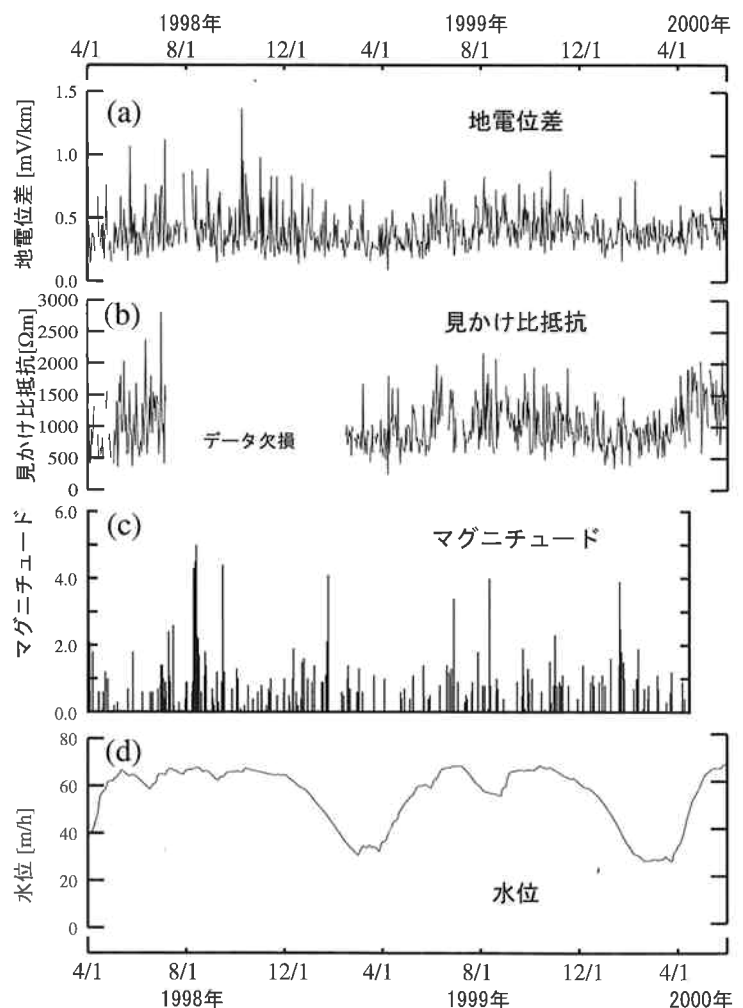


図5. 1998年4月～2000年6月までの地電位差、比抵抗と様々な現象の時系列の比較

a: 地電位差、b: 見かけ比抵抗、
c: 地震のマグニチュード、d: 有峰湖の水位

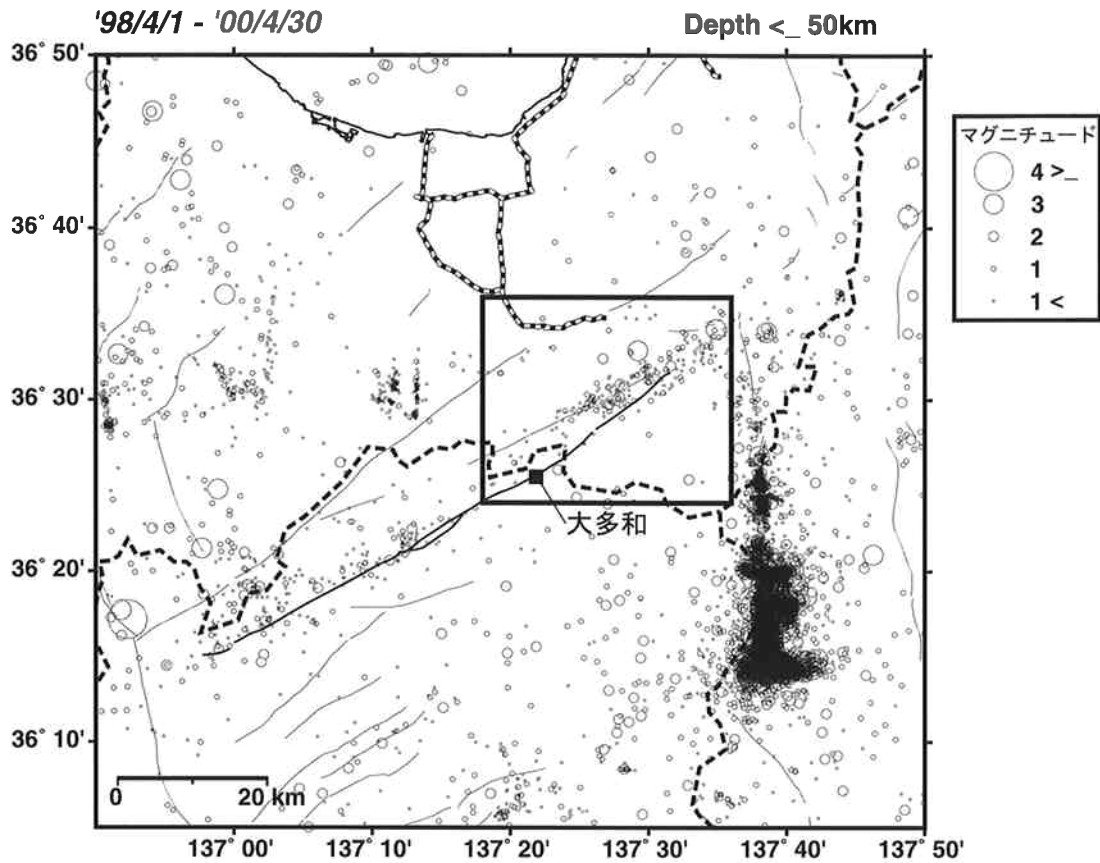


図6. 測点の周辺および跡津川断層での地震の震源分布

物性変化をモニタリングできるかも知れない。観測体制をより整備し、地電位差および大地比抵抗と周囲環境との関係の詳細を調べることが望まれる。

4. 地電位差観測の有用性と地殻変動や環境電磁場のモニターとしての利用

岐阜県と富山県の県境の大多和地区の地電位差観測において、立山電車の漏れ電流による地電位差の変化が認められた。電車運行に伴うレールの漏れ電流が、山を隔て数10km離れた地点まで大地内を伝播している。

電車からの電流と、観測された地電位差の間にオームの法則を適用すれば、立山鉄道から大多和までの大地の電気抵抗が求められる。つまり、電車の漏れ電流による地電位差変化を観測することで、かなり広い範囲の数km深度までの、地下の様子をモニタリングできる。地震等の地殻変動の研究にも活用できると考えられる。

電流の伝播は10数kmまでは確かである。立山カルデラ内でも電車の電流に伴う地電位差は観測できる筈であり、地震だけでなく土砂流動のモニタリングとして砂防にも役立つと考えられる。最近話題の環境電磁場

の面でも注目すべき観測として、今後、立山カルデラでの地電位差観測点の設置が望まれる。

大地の比抵抗の解析にあたり、富山地方鉄道の電流記録を参照させて頂いた。跡津川断層の地震については京都大学防災研究所の観測記録を利用させて頂き、有峰ダム湖の水位データは北陸電力から提供を頂いた。

参考文献

- 電気学会・電食防止研究委員会編(1997)：新版電食・土壌腐食ハンドブック，コロナ社。
- 後藤忠徳，坂中伸也，堀友紀，大志万直人，和田安男，住友則彦(1995)：跡津川断層周辺の地下電気伝導度構造(序報)，京都大学防災研究所年報，38，B-1，265-274。
- 笠谷貴史，住友則彦，後藤忠徳(1996)：直流電車軌道からの漏洩電流のモデル化とその応用(2)，京都大学防災研究所年報，39，261-272。
- 宮腰潤一郎，西田良平(1984)：鉄道レール漏れ電流利用による中央構造線地下電気伝導度の測定，CA研究会論文集，279-285。

酒井英男, 上坂麻子, 中山武, 澤田豊明(1997): 断層および火山周辺における雷や磁気嵐に伴う地電位変動の卓越方向, *Journal of Atmospheric Electricity*, 17, 93-102.

酒井英男, 加藤剛之, 桜野仁志, 牛尾知雄, 河崎善一

郎(1999): 雷放電に伴う大地地電位の短周期変動の研究, *電気学会論文誌B*, 119, 966-972.

丹保俊哉, 酒井英男, 長尾年恭(2002): 岐阜県大多和で観測された直流電車のレール漏れ電流による地電位差変化の研究, *電気学会論文誌A*, 122, 446-453.

[要 旨]

通常、直流電車の運行に伴う漏れ電流は、地電位差観測ではノイズとして処理されるが、今回電車の漏れ電流を利用して地下の比抵抗の見積もることを試みた。

岐阜県跡津川断層直上の神岡町大多和地区で地電位差観測を行っており、記録には、富山地方鉄道立山線の漏れ電流が明瞭に観測されている。ノイズ源である立山線の消費電流を測定することにより、地下の電気比抵抗のモニタリングが可能となった。これにより地震等の地殻変動の研究にも活用できると思われる。