

鉄道レール洩れ電流利用による 中央構造線地下電気伝導度の測定

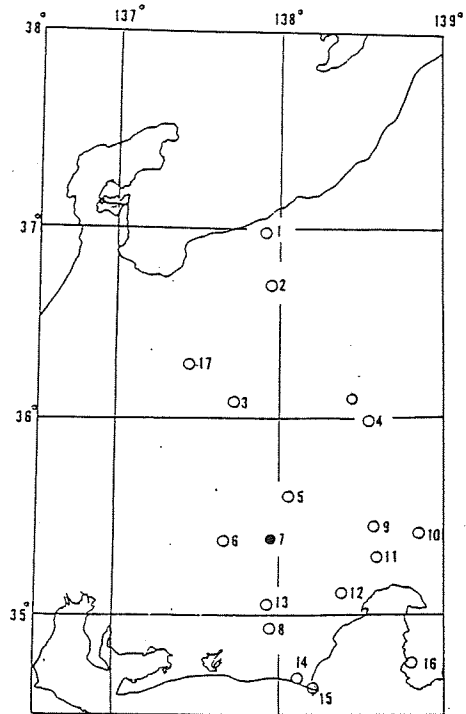
鳥取大学教養部 宮 腰 潤一郎
西 田 良 平

1. はじめに

野外において地球電気磁氣的諸観測を行う際、人工的な電気磁気ノイズが混入して観測に支障を来すことがしばしばある。特に直流電化された鉄道レールからの洩れ電流による電気・磁気ノイズは使用電流が極めて大きいこと、ノイズの周期帯が数秒程度から10分程度の広帯域に及び更に影響範囲が数10 kmの広い領域にわたることなどのため、重大な障害を生み出す。このレールからの洩れ電流の問題についてはこれを防止する立場から電気鉄道工学面での詳細な研究が従来から行われている。一方、洩れ電流が作り出す電気・磁気ノイズに関しては関東、東北地方において行われた柳原^{1),2)}らの優れた研究がある。

確かに直流電化された鉄道は地球電気磁氣的な諸観測に対して最大の障害を与えるものである。しかしながら現実には直流電化の区間は次第に増加のすう勢にあり、そうであれば従来得られている洩れ電流に関する知見を踏まえてこの人工電流を信号源として積極的に利用して地下電気伝導度構造を解明することも研究課題の一つであろう。すなわちレールからの洩れ電流は電気探査におけるダイポール法の電流源に相当し、もし電流源となっている列車と変電所の位置、更に洩れ電流に関するその他の諸定数を知り得た場合には、これと観測されたノイズ電場の大きさから地下の電気伝導度構造を求めることが可能である。

1982年夏、中央構造線を含む東海・甲信越地域一帯の地下電気伝導度構造を解明する目的で中部地方一帯に展開された共同観測事業において我々は中央構造線のほぼ直上に位置すると考



第1図 167 (南信濃, MSN) 位置図

えられる観測点167（南信濃）を担当した（第1図）。観測に際しては附近を走る国鉄飯田線列車によると考えられる電気磁気ノイズに悩まされたが、その中に明確にノイズ源を同定できるものがあったのでこれを利用して地下電気伝導度構造を推定することを試みた。

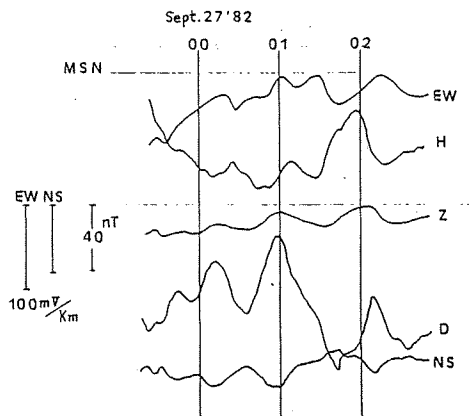
2. 観 測

観測は1982年8月20日から2ヶ月間、フラックスゲイト磁力計、地電流計を用いて行われ特に観測開始後の1週間はインダクション磁力計、高感度地電流計による観測も併せて行った。日中の記録にはフラックスゲイト磁力計を除く各記録に強いノイズの混入が見られたが夜間には消失して正常な記録が得られた。記録例を第2図に示す。このノイズの源は観測点の西約12 kmを南北に走る国鉄飯田線の列車によるものと思われたが、列車の運行が終りノイズが全く消失する夜間においてもなお、深夜02時50分頃から明方へかけて地電流の記録にしばしば特徴のある形のノイズが現れることがある。原因不明のまま観測を終えたが、後に国鉄側からいただいた資料によってこのノイズが飯田線を深夜運行する貨物、5291列車によるものであることが判明した。地電流記録に同列車の運行ダイアグラムを書き入れたものを第3図に示す。両者はよく対応しており、ノイズが同列車の運行によるものであることは確実である。またここには示していないがノイズが現れない日が5291列車運転休止日と一致することもこの事を裏付けている。

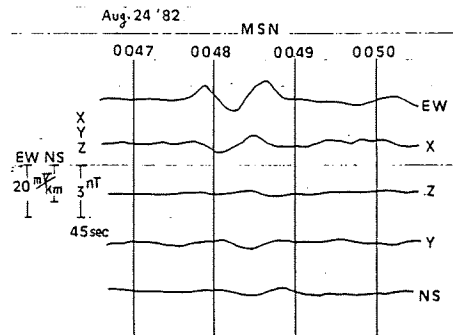
ノイズの振巾は各駅における列車の発車時刻に対応して極大となっている様である。これら発車時のノイズの振巾の観測期間中の平均を第1表に示した。

3. 考 察

電気鉄道における地中への洩れ電流については「電食・土壤腐食ハンドブック」³⁾に詳しく



第2図一 (a) フラックスゲイト磁力計及び地電流計記録例。
電極間隔 NS ; 102 m
EW ; 128 m

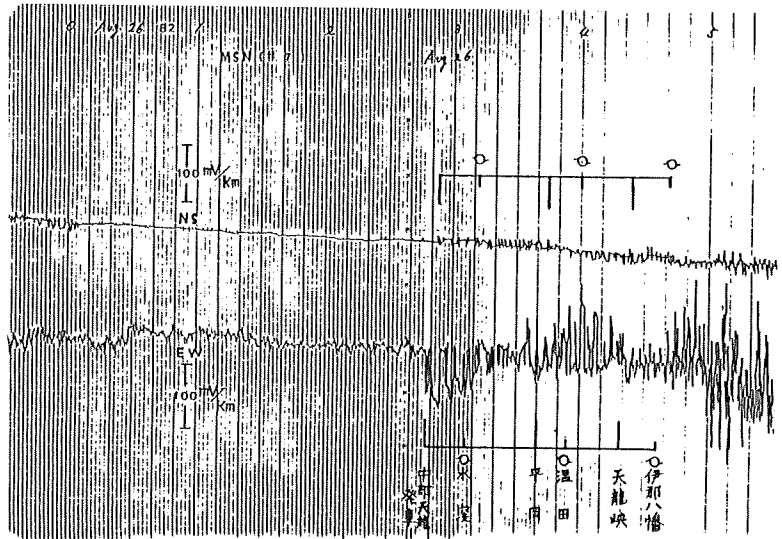


第2図一 (b) インダクション磁力計及び高感度地電流計記録例。
電極間隔は (a) 図に同じ。

第1表 5291 列車発車時に南信濃 (MSN) で観測された電場ノイズの平均振幅。

	中部天龍発車	平岡発車	天龍峡発車
E_{ns}	$5.2 \pm 0.5 \text{ mv/km}$	$11.3 \pm 2.2 \text{ mv/km}$	$12.1 \pm 1.0 \text{ mv/km}$
E_{ew}	53.4 ± 4.4	55.2 ± 10.1	57.9 ± 6.5

解説されている。
これによれば列車への電流の供給の方式は最も単純には第4図の様なものである。すなわち変電所で直流化された電流は架線から機関車に供給されモーターを回転させた後レールへ流れ込

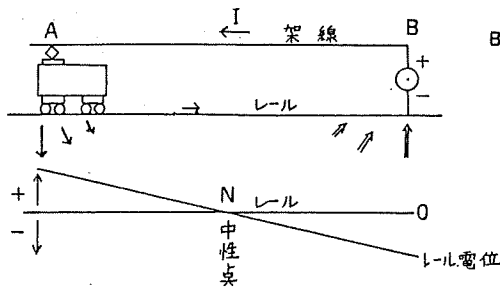


第3図 地電流計記録に顕れた5291列車ノイズ。

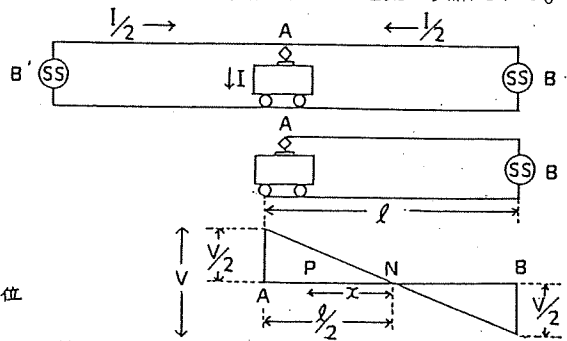
○ ; 変電所 (列車通過)

みレールを通して変電所へ還って行くがレールと地面との間が完全には絶縁されていないため洩れ電流が生ずる。したがってレールの対地電圧は列車側でプラス、変電所側でマイナスでありその中間に電位ゼロの中間点が存在する。

しかし、実際には変電所は列車の両側にあつてその両方から架線を通じて電流が供給される。



第4図 列車への饋電システム及びレール対地電位模式図。



第5図 列車の両側にある変電所から饋電される場合のレール対地電位模式図。

今問題を単純化して第5図の様に考える。即ち、

レールの中性点Nから距離 x の点Pにおけるレールの対地電位は、

$$V_p = I \cdot r \cdot x$$

従ってP点におけるレール単位長当りの洩れ電流は

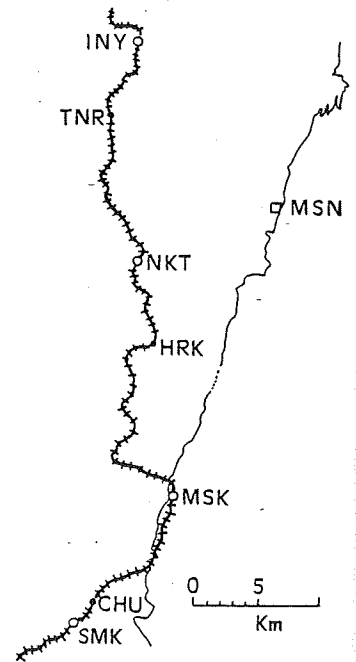
$$i_p = \frac{V_p}{\omega} = I \cdot \frac{r}{\omega} \cdot x$$

ここに、 r ; 単位長さのレール抵抗

ω ; 単位長さのレール洩れ抵抗

今、ノイズと列車運行との対応が最も明瞭なノイズの立上り、即ち列車が中部天龍駅を発車する際について考えてみよう。この場合電流は水窪変電所、下川合変電所から供給され、また南信濃観測点(MSN)、水窪変電所(MSK)、中部天龍駅(CHU)及び下川合変電所(SMK)の4地点はほぼ一直線上にありこの区間のレールも直線であると考えてよからう(第6図)。国鉄側からいただいた洩れ電流に関する諸定数やそれぞれの地点間の距離(レール長)は第2表の通りである。ただし、レール洩れ抵抗の値は上述のハンドブックの値を参考にして選んだものである。変電所間の距離は20 km程度であるので洩れ電流は全体のせいぜい10%以下と考えられる。

そこで機関車の起動電流は発車時にレールへ流れ込みそして列車の両側の変電所への距離に逆比例した比に分れてそれぞれの区間のレール中を流れて変電所へ還ると考える。



第6図 国鉄飯田線及び観測点位置図。

- MSN; 南信濃(観測点)
- SMK; 下川合駅及び変電所(列車通過)
- CHU; 中部天龍駅
- MSK; 水窪駅及び変電所(列車通過)
- HRK; 平岡駅
- NKT; 温田駅及び変電所(列車通過)
- TNR; 天龍峡駅
- INY; 伊那八幡駅及び変電所(列車通過)

第2表 洩れ電流関係の定数及び各地点間の距離。

レール抵抗 (37 Kgr レール)	洩れ抵抗	起動最大電流	
		ノッチ進め電流	
0.01679 Ω /km	1.0 $\Omega \cdot km$	ED-62型機関車	
		1400 A	575 A

中部天龍~下川合	中部天龍~水窪	水窪~南信濃
2.5 km	11.9 km	25.2 km

するとその間にそれぞれの区間でレールから地中へ洩れ出す電流は、中間点を原点としてレール単位長当り、

$$\text{CHU} \sim \text{SMK間}; \quad i_p = 1157\text{A} \times \frac{0.01679}{1.0} x$$

$$\text{CHU} \sim \text{MSK間}; \quad i_p = 243\text{A} \times \frac{-0.01679}{1.0} x$$

これによって観測点(MSN)に生ずる電位は地下比抵抗を ρ として

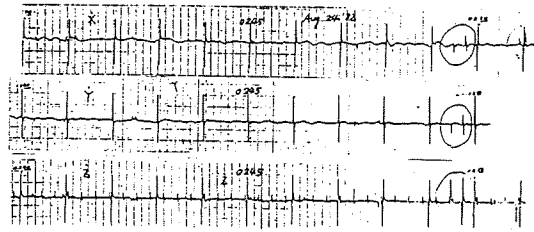
$$U = \frac{\rho}{2\pi} \sum \int_P^Q \frac{i_p}{r} dr \quad P, Q; \text{レール区間の両端の点}$$

であるから第1表及び第2表の値を用い更に観測点の地電流電極NS, EWの方向がこれらの地点の排列方向とそれぞれ $18.5^\circ, 71.9^\circ$ 傾いていることを考慮して計算して

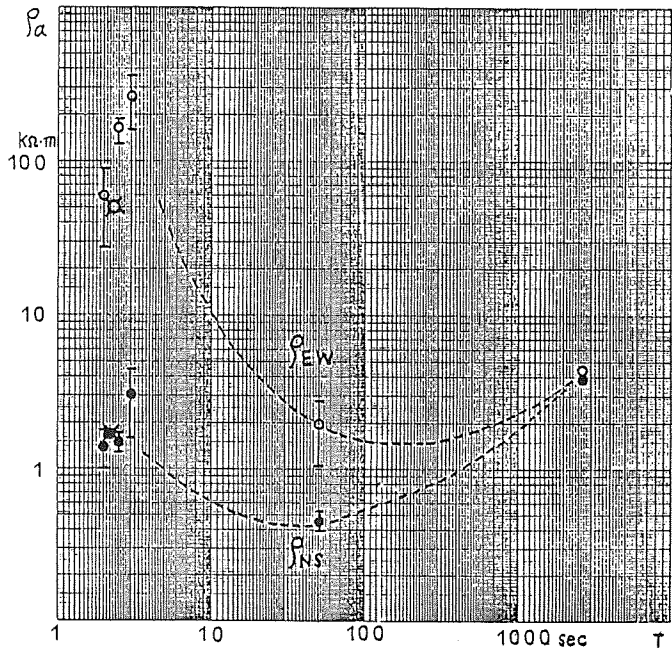
$$\rho_{NS} = 1.64 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}, \quad \rho_{EW} = 50.7 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$$

を得た。

ところで5291列車のノイズは電場だけではなくインダクション磁力計の各成分にも明瞭に現れている(第7図)。そこでそれぞれ対応する水平成分の振巾比に対してM-T法を適用して見掛比抵抗を求めた。そして先に第2図に示した自然磁場・電場の変化に対してM-T法を適用して得られたものと一緒に示したのが第8図である。なおこの場合ノイズの周期としては2.5 secを選んだ。電場のみの観測から求めた値と電場と磁場との観測結果から求めた値はよく一致していると言えよう。



第7図 インダクション磁力計記録に顕れた5291列車ノイズ。



第8図 南信濃においてレール洩れ電流によるダイポール法及びM-T法によって求めた見掛比抵抗。

○×; レール洩れ電流利用のダイポール法によるもの

洩れ電流を生じているレールと観測点間の距離から判断してこの比抵抗を示す深度は20 km程度であろう。一方M-T法における2.5 secの变化磁場のSkin Depthは南北方向の二次元構造に関して20 km前後と考えられる。この様に第8図の結果はその深度の点でも大体一致していると言えよう。

この度の洩れ電流の計算は観測点との位置関係が最も単純な場合、即ち列車が中部天龍駅を発車する場合についてのみ行った。今後更に他の駅を発車する際についても計算を行いそれぞれの場合についての地下電気伝導度を求めたい。この場合はレールと観測点間の距離が短いのでより表層の構造を知ることができよう。またこの度は中央構造線の電気伝導度鉛直構造まで求めることはできなかったが、今後VLF、ELF利用による表層の測定値を得て有限要素解析法による計算によりこれを得たいと考えている。

4. 結語

我国の最も基本的な構造線である中央構造線上において国鉄飯田線のレール洩れ電流によって生ずる電磁氣的ノイズを用いて地下電気抵抗を求めた。その結果、地磁気サブストーム等や、長周期帯に属する自然磁場変化や地磁気脈動の様な短周期帯に属する自然磁場変化に対してM-T法を用いて求めたものと矛盾しない結果を得た。即ち、中央構造線は周期数10 secの地磁気脈動に相当する周期帯から周期数secの鉄道レール洩れ電流によるノイズの周期帯に関して、その走向方向である南北方向の電気伝導度は東西方向のそれに比べて1~2桁大きくなっていることが判明した。

なお国鉄飯田線を挟んで Λ_6 7の観測点とはほぼ対称の位置にある Λ_6 6の観測点に於てはこの様な列車ノイズは観測されていないとのことである(住友則彦氏私信による)。このこともやはり飯田線の東側、 Λ_6 7の直下の中央構造線へ向かって電流が集中的に流れ込んでいることを示すものと考えられ、この様な伝導電流の存在を考慮すると中央構造線の南北方向の電気伝導度は今回得られた値より一層大きな値となっているのかもしれない。

謝辞

終りに、観測データの解析に際して貴重な資料や示唆をいただいた当時国鉄長野鉄道管理局総務部佐藤信行氏、静岡鉄道管理局電気部唐沢重文氏及び飯田線天龍駅駅長の各位、それに観測場所を提供し種々の便宜を与えていただいた南信濃村近藤徳次郎氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 柳原一夫, 大島汎海, 福島・米沢間電気鉄道による原町地電流の擾乱, 地磁気観測所要報, 第6巻, 第2号, 119 - 134, 1953.
- 2) K. Yanagihara, Magnetic Field Disturbance Produced by Electric Railway, Memo. Kakioka Magn. Obs., Suppl. Vol. 7, 17 - 35, 1977.
- 3) 新版電食・土壤腐食ハンドブック, 電気学会, 昭和52年, コロナ社。