

直流電車軌道からの漏洩電流の モデル化とその応用(1)

笠谷貴史・住友則彦・後藤忠徳(京大防災研)

Modeling of artificial earth current leaked from the DC electric railway
track and its application to electrical resistivity soundings(1)

Takafumi Kasaya, Norihiko sumitomo, Tadanori Goto
(D.P.R.I., Kyoto Univ.)

1_はじめに

電磁氣的観測において、直流電車からの漏洩電流の影響は大きく観測の障害になることが多い。そのため直流電車が観測に及ぼす影響について今までにも多くの研究がなされている。土居・住友(1984)、藤原・住友(1986)などでは漏洩電流が観測点固有の卓越方向を持つこと、その卓越方向と振幅を用いることにより地下の比抵抗構造を定性的には反映しうることが報告されている。そこで本研究では直流電車からの漏洩電流を電流源と考慮してモデル計算を行った。特に今回は卓越方向の安定性について検証し、モデル計算で得られた値と実際の観測値との比較を行った。なお観測は滋賀県の甲賀町のJR草津線の近傍で行った。

2_モデル化

直流電車からの漏れ電流をモデル化するには、まず電流の漏れ方を考える必要がある。電流の漏れ方には様々なものが考えられるが、ここでは2種類のモデルを考えた。このモデルの概念図を第1図に示した。最初のモデルは変電所と電車の位置の2カ所のみで電流の流入出があるモデル(ここではポイントソースと呼ぶ)で、次のモデルはレール全体から電流の流入出があるとするモデル(ラインソースと呼ぶ)である。モデル計算の単純化のために、地下構造は一樣でレール抵抗や漏れ抵抗も一定で変化しないこととした。また今回のモデル化では電場の卓越方向の議論のみとし、振幅については言及しない。

両モデルの計算方法を示す。まずポイントソースの場合について述べる。変電所からの負荷電流を I 、レールの抵抗を R_r 、変電所と電車との距離を L とすると、電車の位置でのレール対地電圧 V は

$$V = \frac{I \cdot R_r \cdot L}{2}$$

と表すことが出来る。ここで漏れ抵抗を R_r とすると漏れ電流 i は

$$i = \frac{V}{R_l} = \frac{I \cdot R_r \cdot L}{2R_l}$$

と表すこと出来る。ある観測点での電位ポテンシャル V_p は、電流 i 、電位 V_p 、地下の比抵抗 R の関係式

$$V_p = \frac{i \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot l}$$

と表すことが出来る。ここでの R は地下の比抵抗を、 l は電流源と観測点との距離を表す。

一方、ラインソースは多少計算が複雑になる。まずモデル計算の概念図を第2図に示した。ラインソースの場合は起電区間（変電所と電車の間）の外側にも帰線電流の一部が流れると考えるため、第2図のように計算区間を3つに分けて考える。

レール上の任意の点 P での微小区間 dx での電圧降下は

$$dv = -I \cdot R_r \cdot dx$$

dx 中の電流の増加は

$$dI = -\frac{V}{Rl} \cdot dx$$

となる。これら2つの式から

$$\frac{d^2 I}{dx^2} - \frac{R_r}{Rl} \cdot I = 0$$

という方程式が得られる。この一般解は

$$i = Ae^{\alpha x} + Be^{-\alpha x}$$

ただし

$$\alpha = \sqrt{R_r/Rl} \quad \text{とする。}$$

の様になるので、これを各区間ごとに A, B を求め、レール電流・レール対地電圧の一般解を得る。レール対地電圧が求まったので、あとはポイントソース場合と同様に任意の観測点での電位ポテンシャルを計算することができる。

以上の計算方法で、地表面での電位ポテンシャルを計算した結果の一例が第3図である。横軸はレール上の距離(X 座標で表す)で、縦軸がレールからの距離(Y 軸を表す)を表している。このように両モデルの結果を見ると、電位ポテンシャルの様相が大きく異なっている事が分かる。ポイントソースでは電車と変電所の位置を中心に電流の流れが円状に出来るのに対して、ラインソースではレールに対して垂直な電流の流れが卓越するようになる。この違いは起電区間の外側で特に顕著である。

次に電車が移動することによって漏洩電流の卓越方向がどの程度変化するかを調べた。先の第3図のレール上を電車が $X=4$ の位置から $X=14$ の位置まで動いたと考えて、平面上で座標が $(5, 2), (5, 5), (5, 8), (15, 2), (15, 5), (15, 8)$ である場所を選び、両モデルにおける電場ベクトルを計算して電車の移動に伴う方向変化を調べた。その結果を第4図と第5図に示す。6点は変電所から X 軸方向に離れたグループ($X=5$ のグループ)と近いグループ($X=15$ のグループ)に分けられる。この図から明らかであるが、ポイントソースの方は電流の卓越方向が電車移動に伴って非常に大きく変化するのに対して、ラインソースでは全体的に変化の幅が小さいことが分かる。両モデルとも最も方向の変化が小さかったのは $(X=5, Y=8)$ の点でラインソースの場合は約20度、ポイントソースでは約55度であった。また、変電所

からの距離はそれほど影響していないようであるが、ラインソースで見るとX=5のグループの方が多少方向変化の度合いが小さいようである。また、軌道からの距離が大きくなるほど方向の変化が小さいことも明らかである。実際の路線の変電所間隔はおおよそ20km前後であるので、片側起電を考えると変電所と電車の距離はおおよそ10km程度となる。よって今回のモデル計算で得られた電場ベクトルの方向の最大変化量は、実際の路線に適用したときでもおおよそ妥当な値であると考えられる。

3 漏洩電流観測について

今回の観測は、モデル計算の結果との比較を行うために次のような点に留意して観測地点を選んだ。

- ①漏洩電流源となる鉄道が少ないこと
- ②電車の運転本数が少ないこと
- ③路線に片起電の状態にある区間があること

以上の点を考慮して、観測は滋賀県と三重県との県境にほど近い滋賀県甲賀町一帯で行うこととした。観測地域周辺の位置を第6図に示す。この地域をほぼNW-SE方向にJR草津線がはしっている。この路線の起点は地図中の拓殖駅で、最終的には東海道線に合流して終点の草津駅に至る。草津線には路線の中2カ所に変電所がある。1つ目は甲賀駅（甲賀変電所とする）にあり、2つ目の変電所は甲賀から約18km東海道線よりに位置する。拓殖-甲賀変電所間の距離は約8kmである。

観測点は第6図中に示した6観測点である。今回の観測はリファレンス点を2点設置し、移動観測を行っている間も連続したデータが取れるようにした。また常に3点で電車の漏洩電流の波形が取れていることになるため、時刻表を参照することによって個々の電車と観測波形との対比が容易であった。なお、リファレンス点は電車軌道からもっとも遠い点（軌道から5.6km）と近い点（軌道から0.8km）の2点を設置し、移動観測はリファレンス点間の4点で行った。各観測点はおおよそ電車軌道に対して垂直になるようにした。

観測された電場の卓越方向を見るために、電場の南北成分と東西成分とで電場ベクトルの軌跡を描いた。この結果を第7図に示す。第7図のローカスは全て20分間のデータを用いている。その20分の間に、電車は拓殖駅を発車して甲賀駅まで移動している。この図からリファレンス点2がほぼ南北の卓越方向を示しており、またドリフトをしているがFGYもほぼNE45度方向に卓越方向を持っていることが分かる。観測点がだんだん軌道に近づいていくにしたがって卓越方向が見られなくなり、図中のSMG、INB及びリファレンス点1では拓殖駅と油日駅を電車が発車する際のシグナルに大きく引っ張られているのが分かる。その他の小さな変動についてはよく分かっていないが、約20km北にある近江鉄道や東海道線の影響だと考えている。

4 観測値とモデル計算との比較

次にモデル計算によって得られた電場ベクトルの向きと、観測から得られた卓越方向との比較をおこなった。簡単のために比較は片起電の状態にある拓殖-甲賀間のみで考えるこ

とした。

計算は先のモデル計算と同様の手法を用い、実際の電車と変電所と観測点の位置関係を考慮して計算を行った。2つのリファレンス点の位置でのモデル計算によって得られた電場ベクトルの向きを第8図と第9図に示した。両図中の矢印は実線が拓殖駅発車時のもの、破線の矢印が油日駅発車時のベクトルの向きである。実際の観測値は第7図の通りであるので、その方向と比較をしてみる。まず第8図のポイントソースの場合であるが、どちらの点の結果も方向が一定せず実際の方向も全く合致しない。一方、第9図のラインソースの方はリファレンス点2の方では良い一致を示す。また、この点でのモデル計算によって得られたベクトルの向きの角度変化は約15度であり、比較的電場ベクトルの方向が安定していると言える。

5 まとめ

モデル計算の結果、一定の卓越方向を持つためにはポイントソースのようなモデルでは全く説明できず、ラインソースのような電流の漏れ方をしている必要があることが分かった。また電車の移動による影響は電車軌道から離れるにしたがって小さく見積もられる。このような傾向は観測結果からも明らかで、軌道から離れるにしたがって卓越方向が一定になっていく事が分かった。

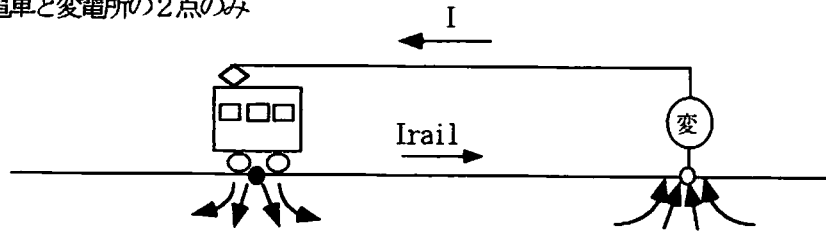
実際の観測結果とラインソースでの計算結果との比較では、リファレンス点2では方向安定性、卓越方向とも良好な結果を示したが、軌道に近いリファレンス点1では卓越方向があまり一致しなかった。

今回のモデル計算では、電流源の移動に対する漏洩電流の卓越方向の安定性の検証を行ったが、振幅を利用したモデルと観測値の比較もする必要がある。また現段階でのモデルは、片側からのみ起電されているモデルをであったが、実際の路線では両側から起電されている区間がほとんどである。よって実際に応用するためにも両側起電のモデルを作成し、今回のような比較を行う必要がある。また、地下構造が不均質である場合（例えば断層のような構造がある場合など）を仮定した3次元のモデル計算も行った上で、電気探査などへの応用へ向けた手法の確立を目指していきたいと考えている。

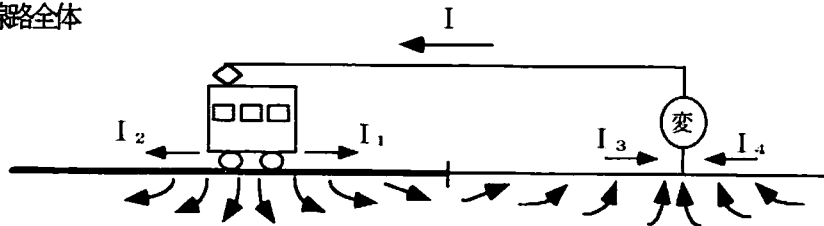
参考文献

- 住友則彦・小泉誠・後藤忠徳・松尾成光・渡辺邦彦, 漏洩電流の性質について(1), 京都大学防災研究所年報, 279-290, 1984
- 土井恵治・住友則彦, 電気鉄道からの漏洩電流の性質と電気探査への応用, 京都大学教養部地学報告, 19, 31-41, 1984
- 藤原智・住友則彦・塩崎一郎, 電気鉄道からの漏洩電流の性質と電気探査への応用(2), 京都大学教養部地学報告, 21, 8-16, 1986
- 宮腰潤一郎・西田良平, 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, 279-284, 1987
- 新版電食・土壌ハンドブック, 電気学会, 1977, コロナ社

電流の流入出は電車と変電所の2点のみ

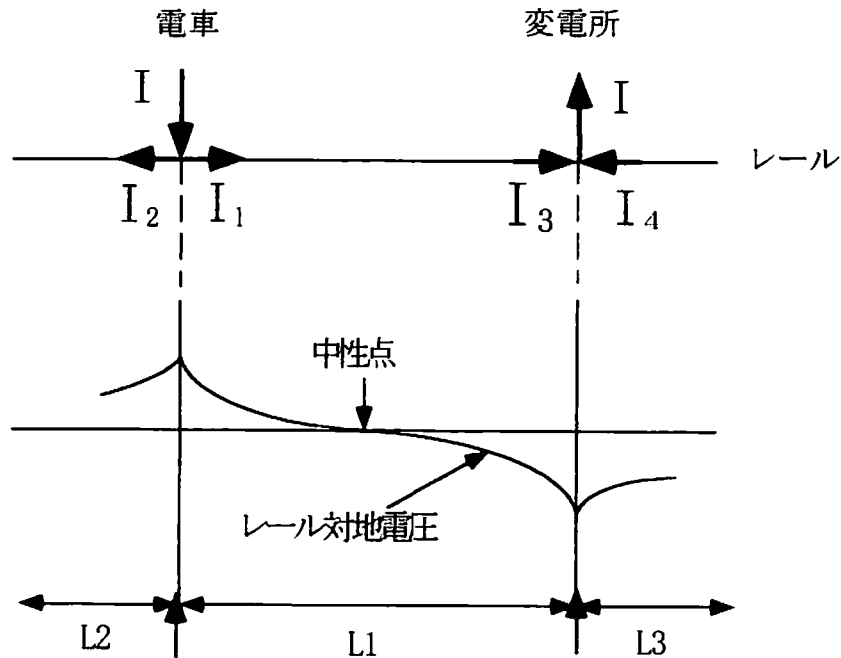


電流の流入出は線路全体



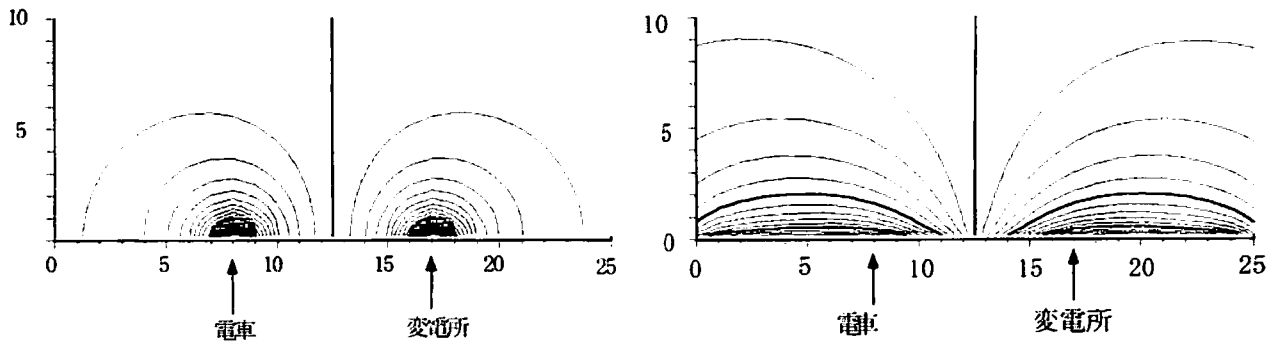
第1図 モデル概念図

上の図がポイントソースを表し、黒点のところで電流の流出が、白抜きの点で電流の流入が起こっている。
下の図はラインソースを表し、太い線の部分から電流が流出し、細い線の部分で電流の流入が起こっている。

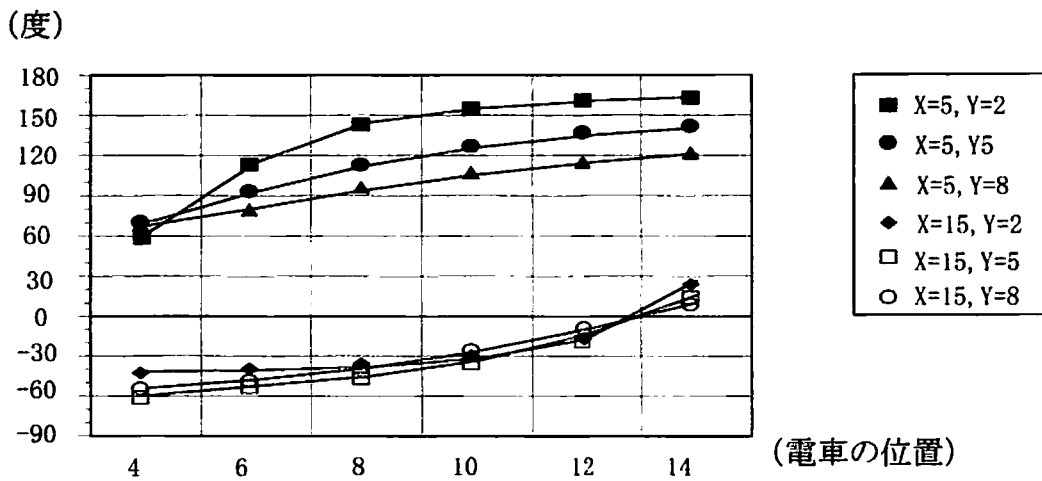


第2図 ラインソースのモデル計算の概念図

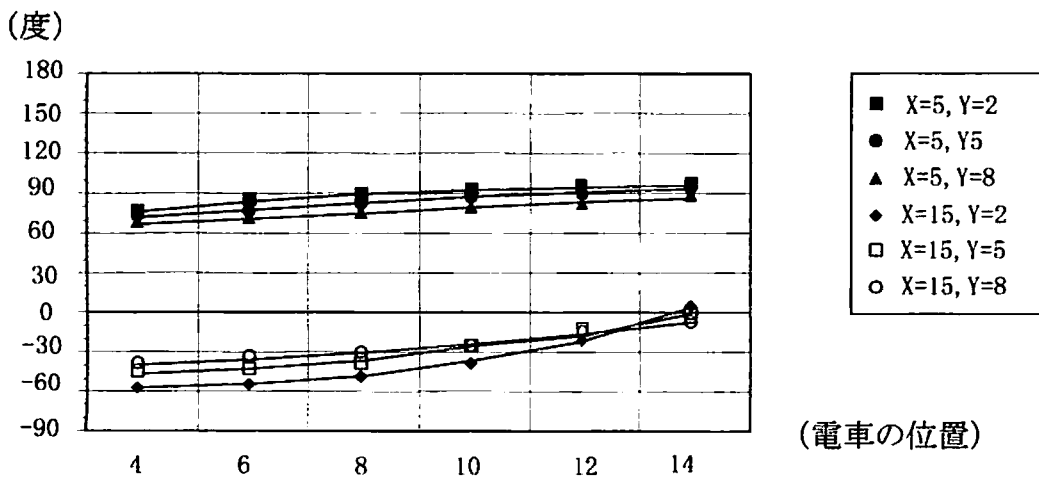
ラインソースではL1の部分だけではなく起電区間の両側 (L2, L3の部分) にも帰線電流の一部が流れていることが特徴である。レール対地電圧は電車の位置で最大、変電所で最小となる。レール対地電圧が0の地点を中性点と呼ぶ。Iは全起電電流、I1からI4はレールを流れる帰線電流を表す。



第3図 電位ポテンシャルの計算例
 左図がポイントソース、右図がラインソースで計算した例



第4図 ポイントソースの場合の電場ベクトルの方向変化



第5図 ラインソースの場合の電場ベクトルの方向変化

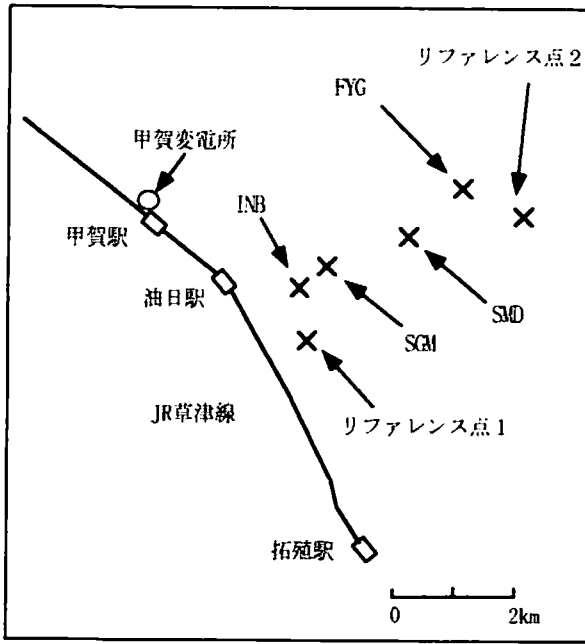
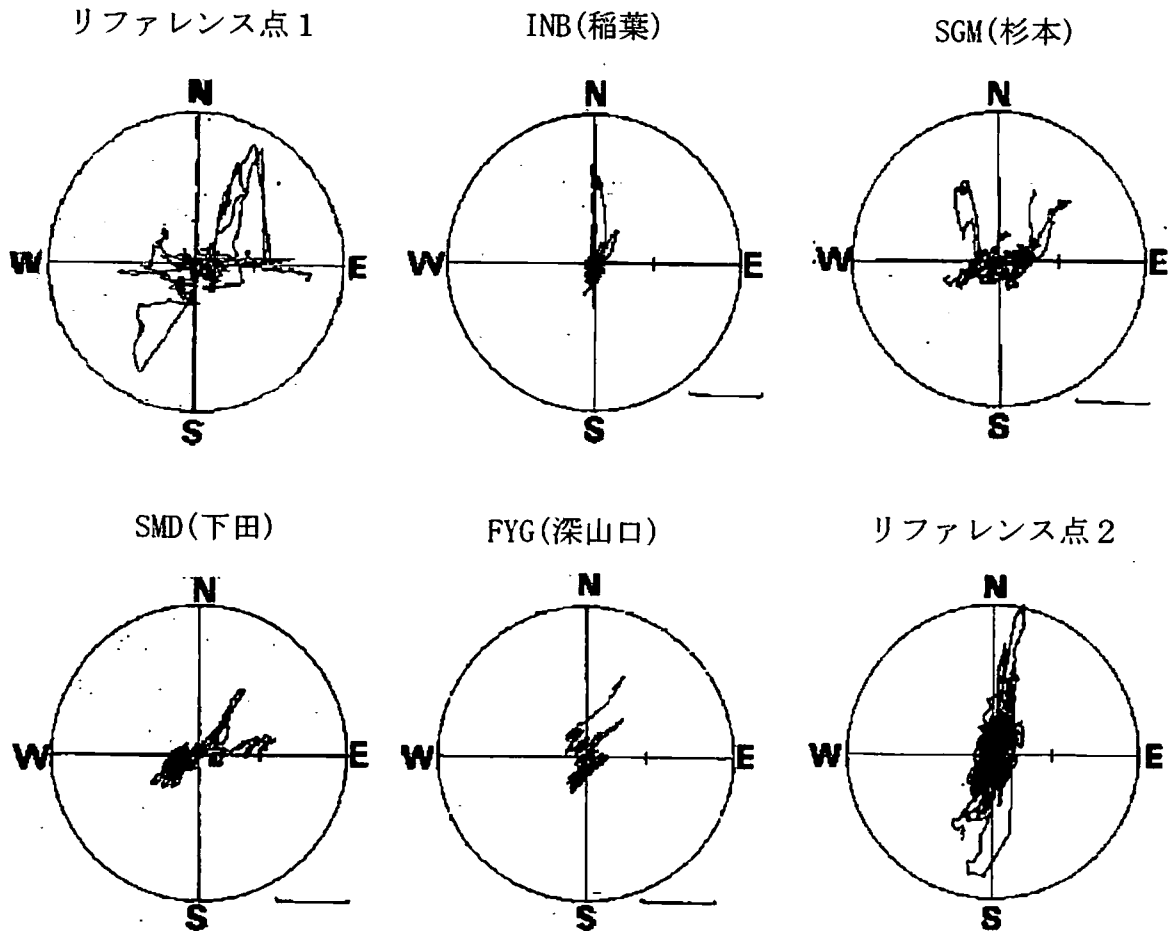
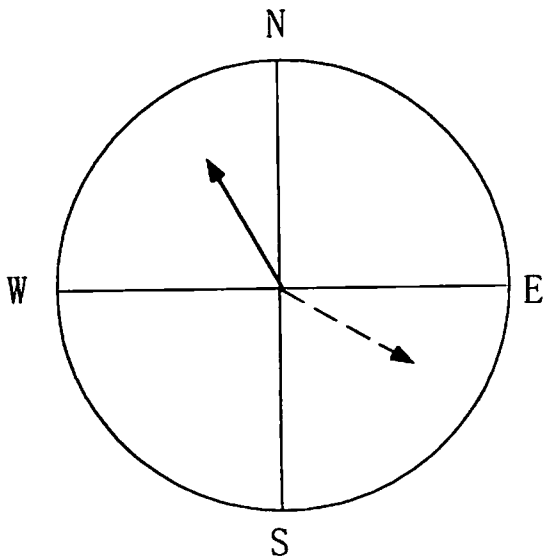


図6 観測地域図
(左の図は甲賀町周辺の拡大図)

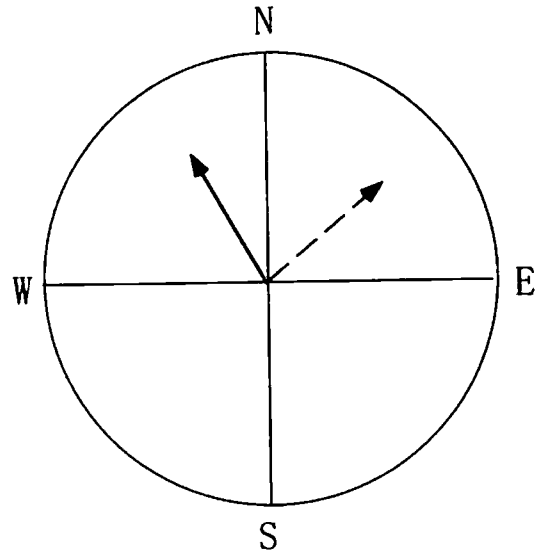


第7図 観測された電場の卓越方向
 全て20分間のデータを用いてローカスを描いている。
 リファレンス点1と2は同時刻に観測したデータを用いている。
 軌道から離れるにしたがって卓越方向がはっきりしてくるのが
 わかる。

リファレンス点1
(鉄道軌道から0.8km)

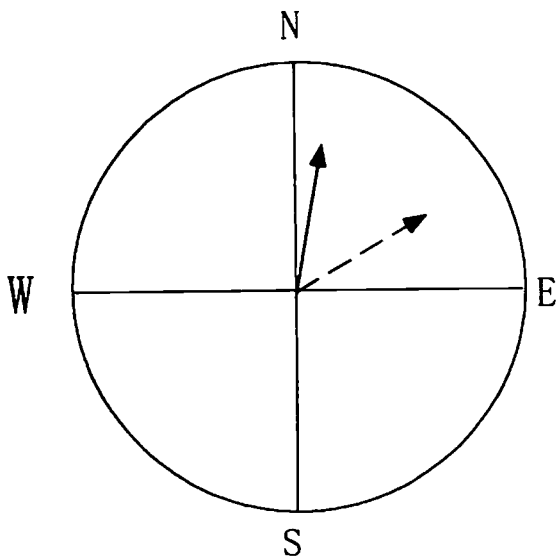


リファレンス点2
(鉄道軌道から5.6km)

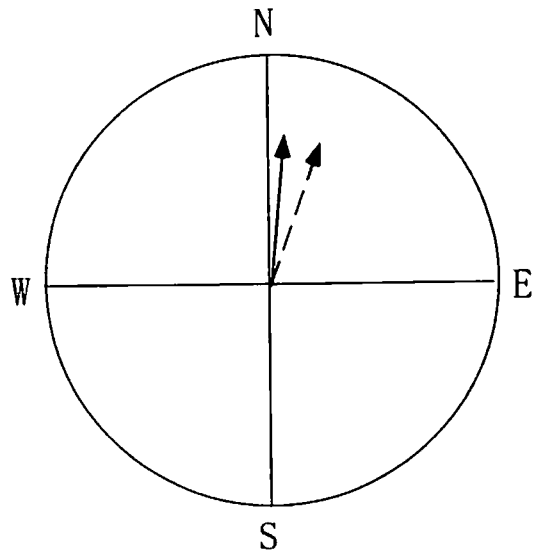


第8図 ポイントソースでのモデル計算結果
左側がリファレンス点1、右側がリファレンス点2での計算結果
実線の矢印は拓殖駅を、破線の矢印は油日駅を出たときの計算値

リファレンス点1
(鉄道軌道から0.8km)



リファレンス点2
(鉄道軌道から5.6km)



第9図 ラインソースでのモデル計算結果
左側がリファレンス点1、右側がリファレンス点2での計算結果
実線の矢印は拓殖駅を、破線の矢印は油日駅を出たときの計算値