

1. プロローグ

寅さん映画にならって、寓話風の夢を見るところから始めましょう。

「鰐の目から鱗」

預言者: 池には鰐がいるから気をつけなさい。
土人: ヨツカイ池 鰐いない。どこの池 鰐いるか。
宣教師: 神が鰐を作り池に放された。
文明人: 舟にはカンデン守りを付けているから大丈夫だ。
名探偵ポアロ: 灰色の脳味噌で考えたところ、鰐は全ての池に
いる訳ではない。鰐が出た池でそやつを捕まえれば、
明日から沢山魚がとれますぞ。
コロンブス: 鰐も卵で生まれる。

渥美清が長生きしておれば山田洋次の脚本は、寅次郎が鰐と格闘する場面で夢から醒めることになるかも知れません。

「奮闘-努力の甲斐もなくア-ア-涙の-」と主題歌が始まりましたので、前置きはこれまでとします。最後までお楽しみください。

2. アース感電という警告

JF1DMQ/山村氏が雑誌「CQ」およびBBSにおいて、「LF帯送信機のコールドエンド側に高周波電圧が発生し感電する」との警告を発しています。その記述を要約すると次の内容です。

- (a) アース棒にはアース電流が流れるので、それとアース抵抗を乗じた高周波電圧が発生する。
- (b) それは、アース棒の位置を中心とした「富士山型」の急峻な電圧分布となる。
- (c) アース棒と送信機筐体はアース線で接続されているので、これらに人体が触れると感電する危険があるので、保安アース付きの絶縁トランスを挿入しアース棒およびアース線の絶縁対策が必要である。

筆者は、上記(a)については異論がないけれど(b)および(c)については理解ができないので、具体的現象である(c)についてBBSを通じてJF1DMQ/山村氏に次の趣旨の質問してみました。

質問:感電というのは二つの電極間で起きる。この感電の場合に一方の電極がアース棒等であることは自明だが、他方の電極はどこにあるか具体的な箇所を教えてください。

これに対するJF1DMQ/山村氏の回答は、明確に人体の位置や接触部位を示さずに既知の(a)(b)(c)を繰り返すのみでした。

この経過の中で、筆者がそのBBSから書き込み禁止の措置をされてしまい、JF1DMQ/山村氏との間に再質問や感電現象の認識の一致ができなくなっています。この事情があって、提言者本人の確認を得ないままに「アース感電論」を解釈せざるを得ません。

では、アース感電とはどんなことでしょうか。

(a) は当然のことです。ただし、アース抵抗という素子があると仮定して、その一方の端子はアース棒に接続し、他方の端子は地中の仮想的な位置につながっていると観念しています。そしてモノポールアンテナ系を考える場合にはその仮想的な位置のことを理想大地とみなします。理想大地は、無限の広さと無損失の導体であるとしています。

次に、(b) でいう「富士山型の電圧分布」というのを検討します。アース棒を最高峰として裾野が広がるイメージです。これを普通に考えると、アース棒と地表面の各地点との間に電圧が存在し、その大きさは遠地点ではゼロでアース棒地点では最高電圧と思えます。(実は「富士山型」が誤ったイメージを与え、渓谷型をイメージする方が良い思考に結びつくのですが、少し我慢して以後をお読みください。)

(a) と (b) を等価回路にしますと、図 1(A) になります。どこかへんです。そう、富士山型ならばこうなります。(a) による高周波電圧が盛り上がるためには、理想大地が地表に露出するという矛盾が生じたのです。もしそんなことがあるのなら、理想大地の位置を探してそこにアース棒を打つだけでアース工事は満点です。

やはり、この「富士山型」イメージが間違いで、理想大地は地中の深いところのどこかに存在していて、図 1(B) で描いたように、アース電流による高周波電圧はアース棒と理想大地との間に生じると認識しなければなりません。換言すると、理想大地の電位は地上からは直接測れないということです。もう一つ大事なことは、アース電流は無数のベクトル電流であることです。水平方向に向かう単位電流は単位アース抵抗が大きくなるので垂直方向の単位電流よりも小さくなり、特に地表には水平電流は流れません。したがって横向きの高周波電圧は発生せず、地表と仮想大地との間は一衣帯水の高周波電圧レベルになるのです。

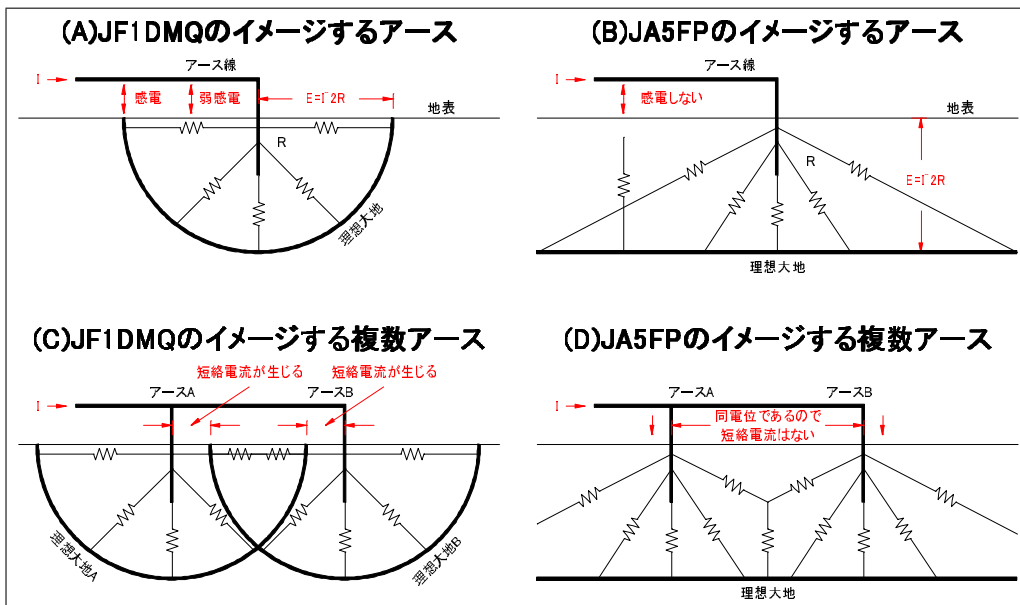


図 1: 集中定数で表した等価アースの違い

3. 感電実験

筆者の環境では感電は実際にありません。そこでどんな環境ならば感電が発生するのかを知る必要があります。ある有志がそれを実験してくれましたので、その構成と測定結果を図

2 に引用してみました。

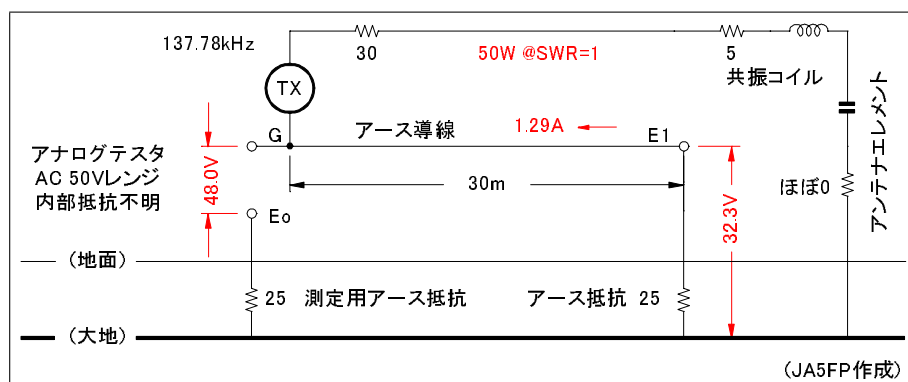


図 2: アース棒高周波電圧の測定

アース電流 1.29A とアース抵抗 25Ω は実測されていますから、アース端子 E_1 と理想大地の間には 32.3V の高周波電圧が発生していると考えられます。測定端子 G およびアース棒 E_1 の間隔は 30m ですから、137.78kHz の高周波ではその間の電位は同じとみなせます。テスタの AC 50V レンジにおける内部抵抗は測定用アースのアース抵抗 25Ω に比して十分大きく、 E_0 と G 間電圧測定はアース棒と理想大地間の電圧測定回路となっています。測定結果は 48V を示し、本来の 32.3V の約 1.5 倍高く出ましたがある程度の目安となります。つまり、JF1DMQ/山村氏の (a) は誰からも疑問を持たれないように、正しいこととなります。測定値を正確に求めるには、帯域が十分で入力インピーダンスが高い高周波電圧計を使うのが良いでしょうが、ここではその必要はありません。

ただし、この測定構成では感電の原因となる電源電圧の測定をしたのであり、感電被害で問題となる感電電流を直接測定したものではありません。感電が生じるかどうか、JF1DMQ/山村氏の (c) の当否の結論を出すにはまだ検討する課題が残っています。

感電による人体への影響については、Wikipedia によると「商用周波数では最小 0.5mA あたりで感知でき、超 10mA では運動不能や電流の部位によっては死に至る。この周波数に比べて 50kHz 以上では影響が少ない。」という経験値が示されています。図 2 の構成で感電を認識するのは、 E_1 と G 間に $48/0.5 = 96k\Omega$ 以下の負荷をかけたことに相当します。

人体を 0.5mA の高周波電流が通じれば、これを正しく感電と定義されます。実際に人体に 0.5mA が流れる状態を体験するには勇気が要りますし、万が一の危険を考えるとやるべきではないでしょう。ある人は、測定用アースに素足を載せてアース導線を指で触ると少しビリビリと感じたと報告しています。このような姿では感電が否定できません。

我われが日常生活を行う地表には測定用アースのような金属物体は存在しませんが、マンホールや建築物の金属が理想大地と導電している場合にはアース導線との間で感電する可能性があります。両者を両手で触るなどは絶対にやってはいけません。

ただし、一般のアース導線はほぼ 0Ω でありその間は感電電圧がなく、それに並列に人体が接触しても感電は生じません。人間が庭や道路を歩く際は靴を着用しているので十分絶縁抵抗が高く、アース線・送信機筐体などに肌が触れ地表との間に直列に回路ができて感電電流に達することはありません。

つまり、JF1DMQ/山村氏の (c) の「感電」は全くの杞憂です。

4. アース電流と渓谷型電圧曲線

残るのは JF1DMQ/山村氏の (b) でいう「富士山型」電圧になるかどうかです。今、空中線電力 P を 50W に固定して $\text{SWR}=1$ に調整し、共振コイルの損失抵抗がゼロで放射抵抗を無視するとアース抵抗両端の電圧 e とアース抵抗 R の関係は次式となります。

$$e = \sqrt{50 \times R}$$

これをグラフで表すと図 3 です。

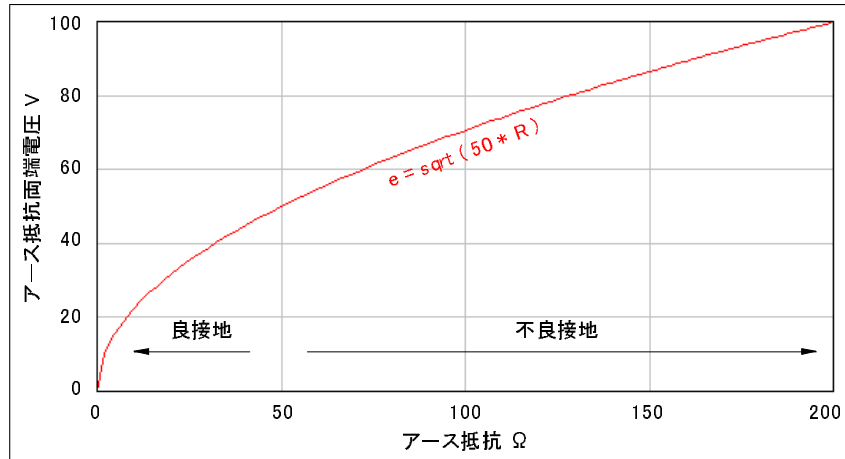


図 3: アース抵抗に生じる高周波電圧 (50W SWR1 の場合)

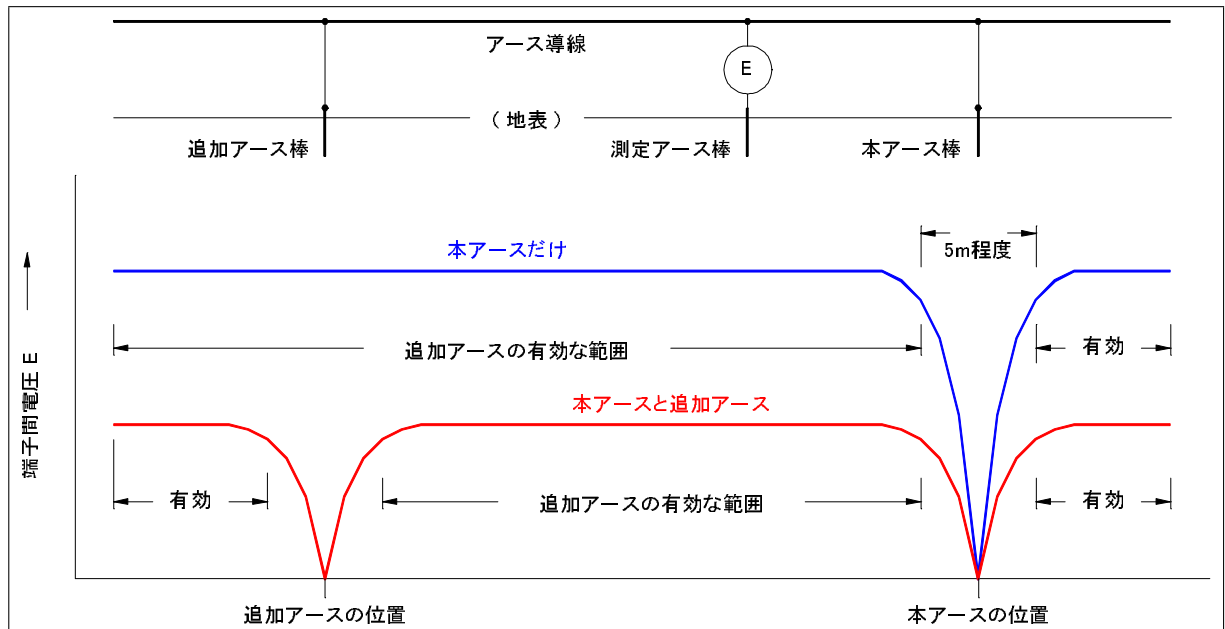


図 4: 追加アースによるアース線の電圧低下と有効範囲

一般に良好なアースとされるアース抵抗 50Ω 以下の場合、 e は 50V 以下ですから、以下の検討では $R = 50\Omega$ 、 $e = 50\text{V}$ と意識しておきます。

前項で述べたように、我われは直接に理想大地の電位を知ることができず、それは高入力

インピーダンスの電圧測定器を用いできるだけ低アース抵抗の補助アース（前項では測定用アース）を介して接続します。

目的のアース棒・アース導線・送信機筐体と理想大地間の e の分布は、補助アースを任意の位置に打ち込んでその測定値から知ることができます。その分布曲線は、図 4 に示すようにアース棒から遠方では $e=50V$ であることは明らかで、アース棒の直近では $e=0V$ となります。要するに、この曲線は観念的な「富士山型」ではなく、同じく遠距離では $e=50V$ の高原が続き同じく直近では e が小さくなる渓谷型または逆富士山型です。

このような目に見える違いは、次項で述べるとおり、アース性能の改善策である複数アースの効き目の調査で意味を持ってきます。

5. 複数アースの意味

図 2 において G と E_0 間を太い導線で接続したらどうなるでしょう。 $e=48V$ を $R = 25\Omega$ で短絡するのでから強烈な電流が流れます。この電流はもちろんアース電流の一つであり総合アース電流を増加させ、結果的にアース抵抗は 12.5Ω という効果を生じます。そして、50W 出力でのアース電流は 1.29A から 1.69A に増加しアース抵抗両端の高周波電圧が 32.3V から 21.1V に低下するという一石二鳥の性能向上を実現したのです。もちろんその位置ではアース導線と地面の間には電圧は生じません。これが追加アース一本で実現するのです。

一般的な環境では、アース棒または地下アースネットによる複数アースは有効です。その施工をする場合に既設のアースとどのくらい離すと有効なのかが問われています。一般にその距離は 2m 以上が良いとされていますが、これまでは手探りで効果を確認するしか方法が見つかりませんでした。これが本稿の検討をする中で、図 4 でご覧のように補助アース棒とアース導線の間の高周波電圧 e が高原（総合アース抵抗値が低くなれば標高が低くなる）になっていれば有効で、 $e=10V$ など谷では既設アースの影響下にあるのであまり効果がないとわかりました。この原理は図 1(D) で理解することができます。なお、ベクトルアース電流による電位が同じ所の間には電位差がありませんので、その間の抵抗値は無限大となることを知っておきましょう。

複数アースによる高周波電圧分布曲線は複数の渓谷を持つことになり、総合的な盆地ができれば優れたアースであると言えます。

6. エピローグは「絶縁トランス」

以上の検討では、絶縁トランスを意識して考えませんでした。その理由は、(1) 感電があるか感電が予想される位置に追加アースを付ければその場所での感電はなくなる (2) 絶縁トランスで本アースと追加アースが電氣的に分離され、複数アースの効果が期待できない、からです。

要するに、接地棒式のアースでは「絶縁トランス」はオマジナイの類であり有害ですらあります。インピーダンス変換の目的で使うならば絶縁トランスのコールドエンドを接続するのが良いでしょう。

感電が恐ろしいという逃げ腰ではなく、人工的な感電ならアースで退治するというのが科学技術でしょう。人工的でない落雷の場合は、決定的な対処法がありませんので、可能な限り予防措置をしておくのが堅実です。

冒頭の寓話で分かる通り、感電から逃げるよりもアース棒の追加という簡単な方法で対処できるし、電波の飛びも良くなるという筆者の灰色の脳味噌で考えた「目から鱗」「コロンブスの玉子」のお話でした。