OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	人體インピーダンスの臨床的研究(II) 放射線障碍皮膚の電氣特性について
Author(s)	重松, 康
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1957, 16(12), p. 1125-1136
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20525
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

人體インピーダンスの臨床的研究 (II)
放射線障碍皮膚の電氣特性について

大阪大學醫學部放射線醫學敎室(主任　西岡時雄敎授)
重　松　　康

(昭和31年10月5日受付)

〔內容目次〕

Ⅰ　緒　言
Ⅱ　實驗方法の概說
1)　發振器及びブリッジ回路
2)　測定電壓の問題
3)　電極の問題
4)　電極間距離の問題
5)　年齡，性，部位による變動
6)　環境條件の問題
7)　被檢體の選び方
Ⅲ　本　題
A)　レ線被照射皮膚の Impedance 絕對値及び Impedance 軌跡の變動
a)　實　驗
(1)　紅斑量一時照射皮膚について
(2)　レ線潰瘍周圍皮膚について
(3)　分割照射による紅斑皮膚について
(4)　分割照射終了より數カ月後の色素脫落皮膚について
b)　小　括
B)　損失角の檢討
a)　理論と考察
(1)　等價回路の問題
(2)　損失角について
b)　實　驗
c)　小　括
d)　考　察
Ⅳ　結　論
Ⅴ　文　獻

Ⅰ　緒　言

電氣回路として生體を取扱う事は，生體電氣現象の中で電氣發生現像，電氣刺戟現象の中間に存するものである．從来行われてきた研究には，本態論的には，之を電氣工學的に取扱おうとするものと電氣化學的に取扱おうとするものとの二つの流れがあり，又之を方法論的に見るならば，分極現象として取出す方法と交流回路の Impedance として扱う方法とに大別される．

分極現象は Gildemeister[1], Einthoven[2], 朴澤[3][4], 橋田，更に最近では本間[5], 山崎[6] などによつて種々の方法で檢討されているが，之は生體に一定の直流電壓を印加する時の生體内に生ずる逆起電力を取扱うものであつて，換言するならば，生體を直流過渡現象回路として取扱うものである．

交流回路として生體を取扱うには，先づ交流ブリッジで或る周波數に於ける Impedance Z を捉えるのであるが，特殊な例外を除けば生體には Inductance は存しないから，通常，抵抗R，靜電容量Cの直列或は並列ブリッジ回路で生體のZと平衡させるのである．

この二つの方法は表裏の關係にあつて，理論上完全に一致されなければならぬものであるが，現在この二つの方法の相關性は，生理學者の間に於いても，なお完全には解決されていない．

種々の細胞組織系の電氣的等價回路を交流を用いて解析したのが K.S. Cole[7] を中心として集大成された一連の業績である．彼は（圖1）の如き抵抗 R_1,R_2, 及び或る簡單な Impedance z_3 より成る回路は，多くの細胞組織系の等價回路として，相等廣い周波數範圍にわたつて適用される事

圖1 Cole の等價回路

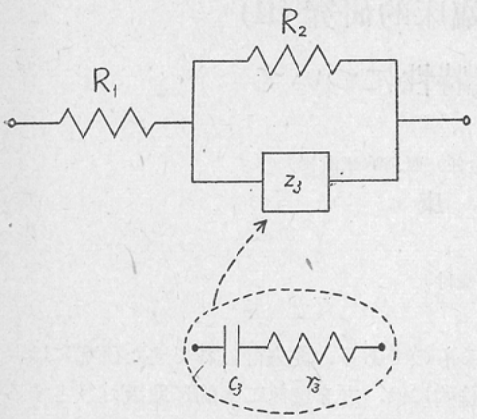
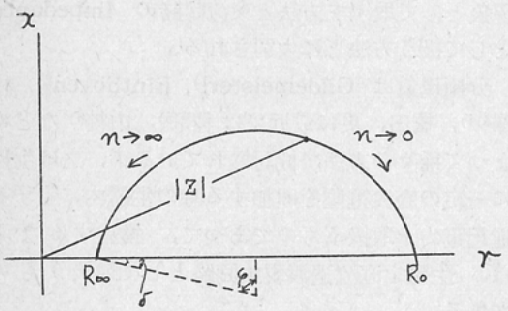


圖2 インピーダンス軌跡と位相角



を示し，Gildemeister[1)8)] の假定の如く Z_3 が周波數に關せざる一定の位相角 φ_3 を持つならば，周波數インピーダンス軌跡は，（圖2）の如く圓弧となる事を電氣工學的に解析した．逆に或る系の Impedance を多くの周波數で測定して，その軌跡が圓弧となつたならば，その系は位相角が周波數によつて變らない様な Impedance z_3 と純抵抗 R_1,R_2 とから成る（圖1）の如き回路に置くことが出來るわけである．こゝに r,x, は複素數で表わされた Impedance のヴエクトル座標で，r は實効抵抗，x はリアクタンス（reactance）を示す．z_3 の有する φ_3 は側路の漏洩抵抗 R_2 とは全く別個に與えらるべきものであり，多くの細胞組織系では50°～80°が與えられる．φ_3 が90°よりも小さく現われる事は，（圖1）の如く容量が抵抗 r_3 で表わされる損失をもつている事を意味する．容量 c_3 は周波數 n に對して一般に $c_3 = kn^{-(\alpha-\omega)}$ （但し k は常數，$\alpha = \varphi_3/\frac{1}{2}\pi$）なる關係をもつていて，周波數が高くなるにつれて c_3 は小さくなるのであるが，而もその小さくなる割合が φ が小さい程大きい．この様な周波數特性をもつた Impedance は，生物材料以外にも多く見られ，金屬電極を電解質の溶液の中につけた場合．その界面に於てこの様な Impedance が現われ，それは Warburg[9)] によつて解析された分極容量で，理想的な分極池では $\varphi = 45°$ したがつて $C_3 = kn^{-\frac{1}{2}}$ である．

さて，人體の Impedance を經皮的に測定する場合，その抵抗及び容量の大半が皮膚に存する事は，分極現象或は交流測定によつて疑う餘地のないところであるが，その解剖的な所在及びその容量の本態に關しては，なお多くの問題を殘している．然し汗腺を除外せる表皮は殆んど不導體と考えられる事から，Cole が膜面に適用した等價回路（圖1）をそのまゝ皮膚に適用する試みが多くの生理學者に行われている．こゝに R_1 は皮内の組織の抵抗と考えられるもので，勿論これも容量を有するものではあるが，その次序に於て表皮とは比較にならないので，この様な等價回路で 200～400Ω と與えられる．また容量の所在に關しては從來二つの考え方が取り上げられている．一つは不導體と考えられる表皮の角質層を電媒質として，外部の電極と皮内組織を夫々蓄電板とする靜電容量であり，今一つは半導體をイオンが移動しようとする際に生ずる分極容量で，解剖學的には發芽層の形質膜或は汗腺細胞が考えられているのである．これらの容量の本態については，種々な生理學者の見解を總合するも，現在なお物理的ないしは生理學的な資料に乏しく，明確には解決されていない．たゞ容量の所在が主として角質を主體とする表皮に存することは認めてよいであろう．要するに等價回路に於ける R_2 は汗腺による漏洩が主體であり，Z_3 の主軸となるものは角質層を主體とする表皮に存すると考えるのが妥當であろう．Z_3 の位相角は測定部位により或は測定者により可成りの差異は認められるが，75°～83°が與えられている．

さて，皮膚の電氣的特性を臨床面に用いようとする試みは種々行われてきたが，その大部分は所謂“電流性皮膚反射”として扱われる側路の R_2 を追つたものであつて，これらはすべて汗腺の反射と看做さるべきものである．吾々の扱う皮膚の電氣的特性とは，容量を含む回路の解析を扱うものであつて，直流抵抗とは區別して考えるべきものである．

臨床面での同系列の試みは皆無に近い．又放射線による皮膚障碍は，他の多くの手段によつて惹き起される損傷と異つて，眞皮層に於ける變化が大きいだけに，理論的考察に有力な題材と考えるのである．

II　實驗方法の概說

私の課題に於いてはすべて交流測定を用いたのであるが，それは，定量的測定の目的のためには分極曲線を取扱うより交流測定の方が測定精度に於いて有利であると考えたからである．測定方法については報告の各論で夫々の擔當者が記載するが，交流測定に於ける基本的な問題を若干こゝに取り上げる事にする．

1)　發振器及びブリッジ回路

發振器は20～20,000C/S の正弦波交流を連續可變に發振する眞空管發振器で，1954年以前は平和電子研究所製造のものを，1955年以降は横河電機製作所製造（OV-CR-20）を用いている．

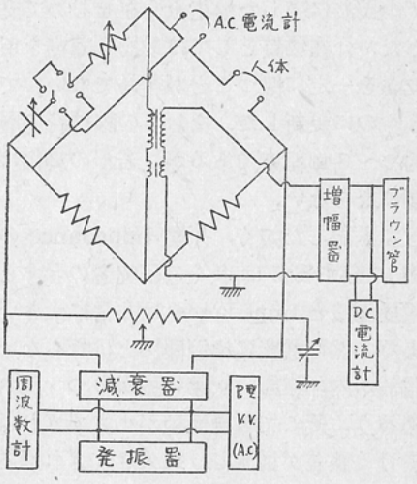
ブリッジ回路は Wien 型ブリッジの變形で，C，Rを可變とし，切換で直列，並列等價回路として測定できる様にした．この報告に於ける實驗成績は主として直列回路を用いたものである．低電壓測定であるので，60db の増幅器を前置して，陰極線オツシログラフを檢出器とした．電源よりの誘導と漂遊容量を防ぐために種々手を加えたが，接地には Wagner 法を用いた．全裝置の略圖は（圖3）に示される．

2)　測定電壓の問題

私はこの實驗に於て印加電壓を 0.2V とした．

“生體の Impedance”を定義しようとする際，電氣工學的に最も問題となるのは，測定電壓によつて測定値の變動の著しいことである．之は

圖3　測定裝置略圖



K.S. Cole によつても指摘されているが，殊に周波數が低くなる程その影響は著しい．直流では，ごく低い電壓でも通電時間が長くなると，鈴木[10]の所謂電極第3作用が現われて Impedance は著しく變化する．

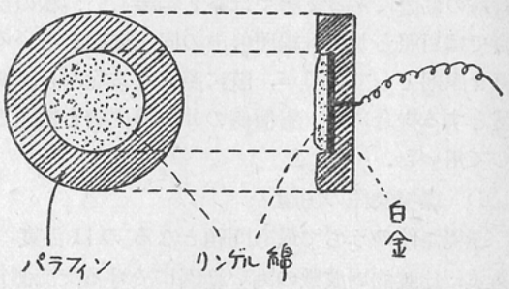
長田[11]は最近 1000C/S に於ける測定に就て，0.5～3.5V の範圍では電壓による測定誤差を無視出来る事を報告しているが，吾々も1,000C/S 以上の周波數域では同様の成績を得ている．

こゝに注意すべきは，吾々の實驗に於いては低電壓印加時の測定値を“人體 Impedance”と定義したのであつて，生體に興奮を惹き起す様な電壓を印加する場合は又別個の問題として檢討すべきである．

3)　電極の問題

主として用いられた電極は（圖4）の如きもの

圖4　電極



二つを一組としたもので，直徑20㎜の白金圓盤にリンゲル氏液に浸した棉花を介在せしめて皮膚に接着した．介在物質としては最初食鹽糊を用いたが，乾濕を一定に保つことが容易でないので，圖の如きものに更新した．なおこの際棉花の層の厚さは約2～3㎜程度であるが，若干の變化は測定上問題にならない．

緒言にも記した如く，人體 Impedance の大半が皮膚に存する事は多くの研究者の示すところで，電極面積と Impedance は非常に大きい相關性がある．然し嚴密に比例關係とはならない．それは電流が内部組織へ次第に擴がりつゝ流れるからであろう．そこで電極面積が小さすぎれば接觸面に於ける誤差が増すし，又大きすぎれば内部組織の Impedance が無視出来なくなる．私が直徑を20㎜と選定したのは，その様な理由によるのであるが，目的によつては直徑5㎜～40㎜のものが用いらた．

4) 電極間距離の問題

私は電極邊緣間の經皮距離50㎜，したがつて直徑20㎜の電極では電極中心間距離70㎜として用いた．

皮膚に比して内部組織の Impedance が極めて低いとするならば，電極間距離は測定上殆んど問題にならない筈である．長田[12]は2～4～20㎝の電極間距離の間で有意の差を見ない事を報告しているが，吾々の基礎實驗に於いても同様な成績を得ている．

5) 年令，性，部位による變動

皮膚は年令，性，部位によつて，角質層や腺組織の發達の狀態が異なり，從つて Impedance の相違もかなり著しい．然し同一個體に於ける左右對稱の位置にある皮膚では略ゝ相等しい．私の實驗では對照としてレ線照射前の同一皮膚を用いる事を原則としているが，既に照射せる症例を被檢體とする場合には，對稱側の非照射皮膚を對照として用いた．

6) 環境條件の問題

環境條件のうちで最も問題となるのは温度である．比較的周波數の高い範圍に於ける交流測定では Impedance は發汗と略ゝ無關係に與えられる事は長田も認めているが，私は可能な限りに於いて室温を18～20℃に一定した．但し夏季に行つた實驗ではこの條件は滿足し得なかつたので，その場合は必ず對照として非照射の對稱部位を測定した．

7) 被檢體の選び方

私の用いた被檢體は殆んどすべて皮膚面に病的所見の認められない胸廓，腹腔内腫瘍の治療患者である．したがつて照射條件は二次電壓 160～180KVp，濾過板 Cu 0.5㎜+Al 0.5㎜，半價層 0.8㎜～1.0㎜ Cu 程度の常用深部治療條件である．勿論種々の線質による皮膚の反應の相違を檢討する事も重要な問題であるが，それは今後の課題としたい．又今回は最大安全量近く照射された皮膚についての變化の傾向を取上げ，統計的考察を要する微細な變化については，今後の發表に讓る．

III 本 題

A) レ線被照射皮膚の Impedance 絶對値及び Impedance 軌跡の變動

(a) 實 驗

1) 紅斑量一時照射皮膚について

次に示される（表1）は紅斑量の一時照射を行い，被照射皮膚の Impedance を時間を追つて觀察した實測値である．

被檢體としては，20歳男子，轉移性肺内肉腫患者の前胸部皮膚を用いた．

1KC に於ける Impedance の絶對値を求め

圖5 小澤氏，20歳♂（600r 一時照射皮膚の經過）
1kc に於ける Impedance の絶對値について

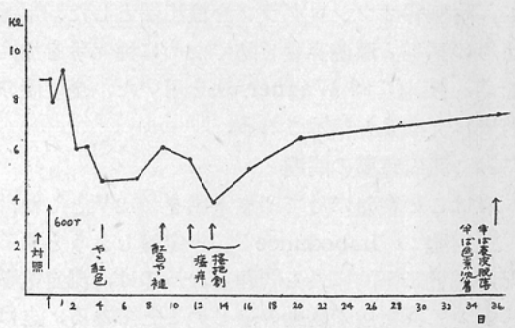


表1　小澤氏, 20歳♂: 前胸部600r 一時照射皮膚のImpedance 測定値

	K.C	20	15	10	6	3	1.5	1	0.6	0.4	0.2
對照	R kΩ	0.230	0.245	0.285	0.360	0.620	1.15	2.00	4.0	6.0	15
(照射前)	C μF	0.0148	0.0154	0.0160	0.0165	0.0173	0.0183	0.0188	0.0200	0.021	0.025
2.5時間後	R	0.220	0.240	0.285	0.380	0.645	1.05	1.70	3.2	5.2	14
	C	0.0157	0.0162	0.0171	0.0180	0.0192	0.0204	0.0211	0.0227	0.0244	0.030
20時間後	R	0.245	0.265	0.310	0.390	0.570	1.07	1.60	2.8	4.0	11.0
	C	0.0139	0.0145	0.0151	0.0159	0.0166	0.0172	0.0177	0.0184	0.0197	0.022
48時間後	R	0.245	0.265	0.305	0.390	0.590	1.13	1.75	3.1	4.7	9.6
	C	0.0185	0.0194	0.0208	0.0233	0.0240	0.0260	0.0282	0.030	0.034	0.042
70時間後	R	0.245	0.265	0.300	0.410	0.640	1.25	2.00	3.3	5.4	11.0
	C	0.0182	0.0191	0.0204	0.0218	0.0237	0.0261	0.028	0.031	0.036	0.047
100時間後	R	0.225	0.250	0.300	0.390	0.650	1.17	1.73	3.0	4.7	9.0
	C	0.0230	0.0246	0.0262	0.0286	0.0309	0.0351	0.0380	0.047	0.057	0.090
7日後	R	0.235	0.260	0.290	0.370	0.520	0.970	1.40	2.4	3.7	7.8
	C	0.0214	0.0239	0.0258	0.0277	0.0300	0.0330	0.0360	0.0395	0.044	0.055
9日後	R	0.245	0.275	0.310	0.390	0.620	1.09	1.63	3.1	4.4	12
	C	0.0175	0.0188	0.0205	0.0217	0.0235	0.0255	0.0271	0.0295	0.0320	0.043
11日後	R	0.215	0.240	0.280	0.370	0.470	1.10	1.7	3.1	5.0	11
	C	0.0208	0.0218	0.0232	0.0242	0.0265	0.0288	0.0301	0.033	0.038	0.056
13日後	R	0.225	0.250	0.305	0.430	0.670	1.00	1.3	2.0	3.1	8
	C	0.0240	0.0256	0.0280	0.0305	0.0360	0.042	0.046	0.050	0.055	0.075
16日後	R	0.235	0.250	0.290	0.400	0.65	1.28	1.75	4.0	7	12
	C	0.0203	0.0216	0.0230	0.0250	0.0276	0.031	0.033	0.041	0.055	0.08
19日後	R	0.215	0.235	0.275	0.370	0.545	1.10	1.72	3.2	5.0	12
	C	0.0175	0.0185	0.0193	0.0205	0.0220	0.0237	0.0251	0.0273	0.0295	0.036
35日後	R	0.215	0.240	0.265	0.340	0.510	1.00	1.5	3.5	5.5	14
	C	0.0168	0.0173	0.0180	0.0188	0.0198	0.0207	0.0220	0.0235	0.0257	0.033

て，時間的推移を追つたのが（圖5）である．

こゝに明らかな如く，照射後48時間にして既に著明なImpedanceの低下がみられる．之はHolzknechtの所謂Vorreaktionの時期に當るが，この實驗の如き半價層0.7～1.0mmCu程度の硬腺を用いる限り，少なくとも外見上は何等の變化を認めない時期である．この様にHauptreaktionの到来を待たず比較的早期より變化を捉え得ることは特筆すべきことと考える．

又照射後11～14日に現われている曲線の第2の谷は瘙痒のため被檢者が無意識のうちに掻把した影響がかなり強く含まれていると考えられる．この様に紅斑皮膚がその經過に於いて波狀を呈し乍ら回復していくことはGraul[13]によるtan φを指標とした實驗に於ても示されている．

變化の最も著明に現われている100時間後，及び略ゝ回復と看做される35日後のImpedance-軌跡を，照射前の射照と比較したものが（圖6）である．

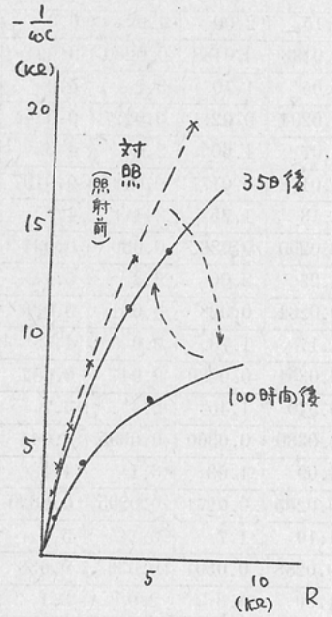
軌跡の變動としても，その經過は明瞭に捉え得る．

2)　レ線潰瘍周圍皮膚について

被檢體は26歳の男子で，或る開業醫のもとで消化器のレ線透視を連續長時間行つた結果約10日後に腰部に巨大な潰瘍を生ずるに至つたもので，最近稀な症例である．なお私の測定は潰瘍形成より約1年半の後に行われた．

次に掲げる測定値は（圖7）の如く創緣より4cm，5cm，15cm，30cmの位置に電極一對を置いて測定したものである．創緣より4cm，5cmの部は

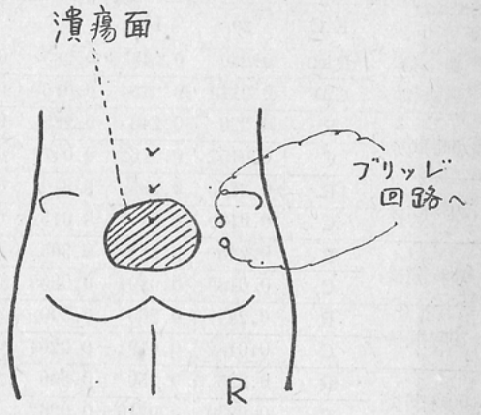
圖6 小澤氏，20歳♂：前胸部600r 一時照射皮膚の Impedance 軌跡の變動



暗赤色に變色した被刺戟性の強い皮膚にして，15㎝，30㎝の位置は外見上變化の認められない部位である．（表2）（圖8）はその測定値と軌跡である．

4㎝，5㎝の位置は著明に Impedance が低下し，健常と考えられる15㎝，30㎝ の部位の兩者は，測定値も軌跡も全く一致するのが認められる

圖7 木內氏，26歳♂：レ線潰瘍と電極位置



であろう．

この症例は軟線皮膚障碍の一つの極端値を示唆するものとして興味深い．而して Impedance 低下の狀態は前節の實驗に於ける紅斑期の場合と同樣な傾向にあることが伺える．

3） 分割照射による紅斑皮膚について

近來行われている深部治療の術式は，殆んど分割照射によつているので，分割照射皮膚の症例は比較的集め易い．

次に掲げる測定値及び Impedance 軌跡は，分割照射による治療期間中，（表3）（圖9）及び治療後なお色素沈着の著明な時期（表4）(圖10) に測定されたものである．

表2 木內氏，26歳♂：レ線潰瘍周圍皮膚測定値

	4 ㎝		5 ㎝		15㎝		30㎝	
K.C	RkΩ	CμF	R	C	R	C	R	C
20	0.15	0.029	0.17	0.015	0.15	0.0137	0.13	0.0145
10	0.23	0.030	0.35	0.016	0.26	0.0142	0.24	0.0145
5	0.40	0.033	0.60	0.018	0.43	0.0148	0.41	0.0152
3	0.57	0.036	0.90	0.020	0.60	0.0156	0.57	0.0157
1.6	0.90	0.043	1.7	0.023	1.13	0.0165	1.1	0.0165
1.0	1.4	0.049	2.7	0.027	1.75	0.0174	1.7	0.0174
0.8	1.7	0.051	3.3	0.029	2.25	0.0176	2.2	0.0176
0.6	2.1	0.055	4.4	0.032	3.15	0.0186	3.1	0.0185
0.4	3.0	0.065	6.5	0.037	5.0	0.0195	5.0	0.0195
0.2	5.4	0.080	11.0	0.050	8～10	0.021	8～10	0.020
D.C	60		53		220		200	

圖8　木内氏，26歳♂：レ線潰瘍周圍皮膚のインピーダンス軌跡

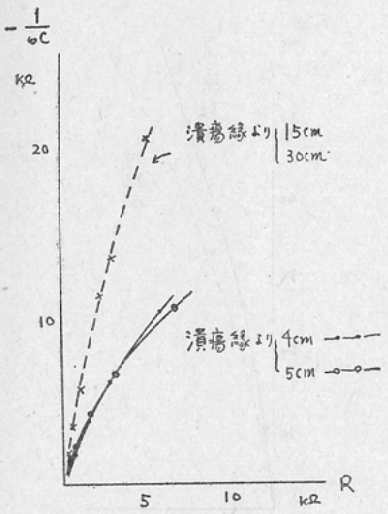


圖9　吉田氏，43歳♀：表3のインピーダンス軌跡

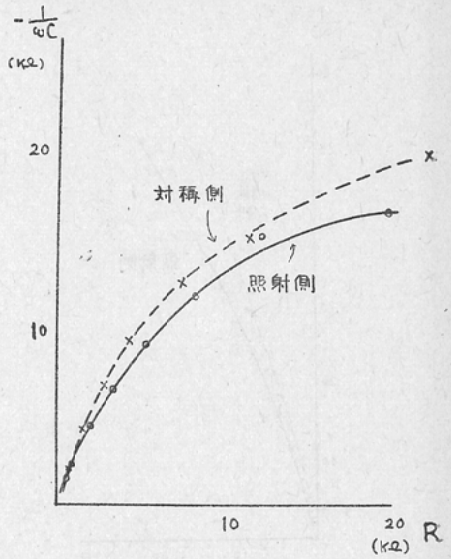


表3　吉田氏，43歳♀：前胸部へ200r ずつ3日置きに分割照射，總計1200r に達した時の測定値

	照　射　側			對　稱　側		
K.C	R (kΩ)	C (μF)	$-\frac{1}{\omega C}$ (kΩ)	R	C	$-\frac{1}{\omega C}$
20	0.37	0.0091	0.88	0.48	0.0111	0.72
15	0.40	0.0094	1.13	0.51	0.0112	0.92
10	0.52	0.0100	1.60	0.60	0.0118	1.35
6	0.80	0.0112	2.38	0.78	0.0128	2.10
3	1.46	0.0128	4.15	1.32	0.0138	3.85
1.5	3.25	0.0155	6.80	2.7	0.0159	6.7
1.0	5.0	0.017	9.1	4.0	0.0173	9.2
0.6	8.0	0.022	12	7.0	0.021	12.5
0.4	12.0	0.028	16	11	0.026	15
0.2	19	0.050	16	21	0.040	20

表4　張氏，22歳♂：轉移性肺內腫瘍の分割照射治療終了後，2週間を經た前胸部被照射皮膚のインピーダンス測定値

	照　射　側			對　稱　側		
K.C	R (kΩ)	C (μF)	$-\frac{1}{\omega C}$ (kΩ)	R	C	$-\frac{1}{\omega C}$
20	0.415	0.00618	1.29	0.285	0.00837	0.960
15	0.500	0.00640	1.65	0.330	0.00866	1.23
10	0.655	0.00680	2.44	0.405	0.00905	1.76
6	0.985	0.00750	3.53	0.570	0.00950	2.69
3	1.75	0.00848	6.28	1.02	0.01005	5.25
1.5	3.39	0.00955	11.2	1.96	0.01042	10.1
1.0	5.00	0.0100	16.0	3.07	0.01105	14.5
0.6	8.07	0.0112	23.9	5.24	0.0124	21.2
0.4	11.9	0.0121	33.0	7.99	0.0136	29.1
0.2	22.0	0.0155	51.2	14.5	0.0162	49.5

圖10　張氏, 22歲♂：表4のインピーダンス軌跡

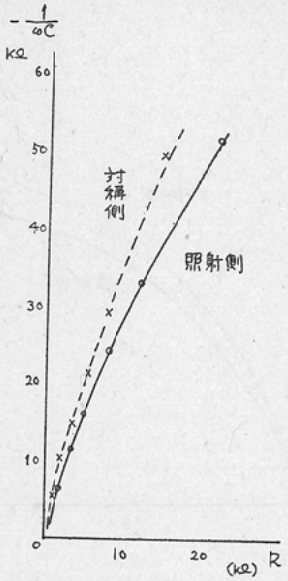
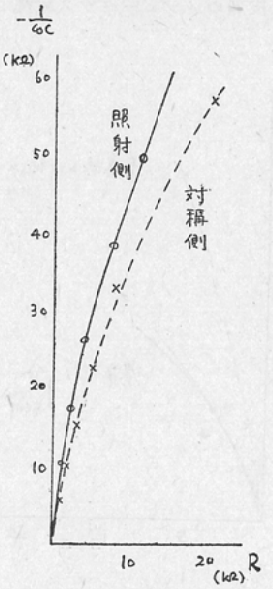


圖11　横山氏, 44歲♀：表5のインピーダンス軌跡



Impedance 絶對値，軌跡ともに，實驗 1)，2) に示された様な著しい變化は認められないのであるが，前二者が容量の増大を最も著明な變化としていたのに反して，この例では容量は寧ろ減少している．然し軌跡は僅か乍ら對照の内側を走つていることに氣付くであろう．

4)　分割照射終了より數カ月後の色素脱落皮膚について

次に掲げる測定値及び Impedance 軌跡（表5）（圖11），（表6）（圖12）は，何れも放射線治療後一定期間を經た後に，色素が脱落して瘢痕狀を呈した皮膚について測定したものである．

容量の減少は著明で，この場合は私の扱つた十數例に於て例外なく Impedance の著明な上昇を示しているのである．Impedance 軌跡として見るならば，對照に比して照射側が著明に外側を迂回するのが分る．

(b)　小　括

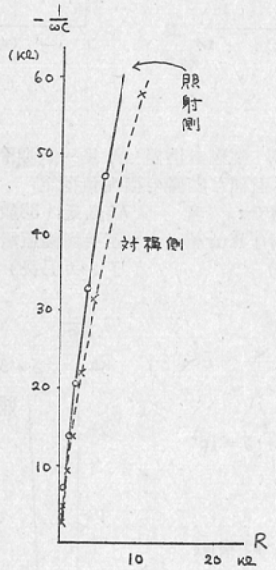
表5　横山氏, 44歲♀：乳癌手術後分割照射1 Kur 終了後
2.5カ月を經た前胸部被照射皮膚のインピーダンス測定値

	照　射　側			對　稱　側		
K.C	R	C	$-\frac{1}{\omega C}$	R	C	$-\frac{1}{\omega C}$
20	0.295	0.00755	1.05	0.400	0.00823	0.97
15	0.330	0.00779	1.37	0.430	0.00848	1.24
10	0.400	0.00810	1.96	0.520	0.00882	1.80
6	0.520	0.00844	3.18	0.680	0.00925	2.75
3	0.900	0.00879	6.02	1.12	0.00977	5.4
1.5	1.65	0.00923	11.4	1.99	0.0105	10.0
1.0	2.5	0.0095	16.8	3.0	0.0110	14.5
0.6	4.0	0.0101	26.2	5.0	0.0115	23.0
0.4	7.0	0.0106	37.8	7.5	0.0121	33.0
0.2	17	0.0120	66	20	0.014	57

表6　坂口氏，57歳♀：肺癌分割照射治療終了後3.5カ月を経た前胸部被照射皮膚のインピーダンス測定値

	照射側			對稱側		
K.C	R kΩ	C μF	$-\frac{1}{\omega C}$	R	C	$-\frac{1}{\omega C}$
20	0.330	0.00657	1.22	0.440	0.00885	0.90
15	0.380	0.00665	1.60	0.470	0.00922	1.25
10	0.440	0.00687	2.30	0.520	0.00957	1.67
6	0.575	0.00705	3.75	0.620	0,00996	2.67
3	0.840	0.00735	7.20	0.840	0.01070	4.95
1.5	1.42	0.00760	13.9	1.34	0.01120	9.50
1.0	2.18	0.00780	20.5	2.0	0.0115	13.9
0.6	3.5	0.00815	32.8	3.0	0.0120	22.0
0.4	5.5	0.00850	47.0	4.5	0.0126	31.5
0.2	10	0.0091	87.5	10	0.0136	58

圖12　坂口氏，57歳♀：表6のインピーダンス軌跡



以上の實驗を總合するに，

1）放射線被照射皮膚の Impedance は照射後次第に低下の傾向をとり，紅斑期に於て最低となり，以後波狀の經過をとつて回復する．

2）紅斑期に於ける Impedance 低下の傾向は一時大量照射皮膚に於て著しく，レ線潰瘍周邊皮膚に於いても同様な傾向が認められる．

3）分割照射に於いては，紅斑期の變化は大量一時照射に於ける場合ほど著明でないが一定期間を經た後に容量の減少が著しくなつて，顯著なる Impedance の上昇を示す．

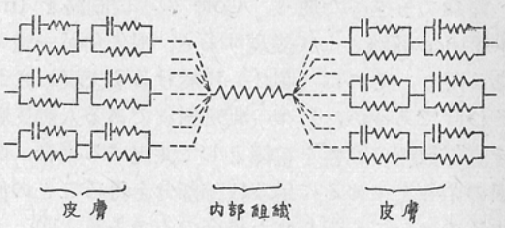
B）損失角の檢討

(a) 理論と考察

1）等價回路の問題

今，Cole の等價回路を皮膚の單位容積に當嵌めて，一定面積の皮膚を等價回路網によつて表現しようと試みるならば，若干の疑問は含まれるとしても，大略（圖13）の如き回路が想定されるであろう．

圖13　想定される人體等價回路



Cole[14] の論説にしたがえば，電流や損傷などによる膜面 Impedance の變化は，Ion permeability 即ち（圖1）に於ける側路の R_2 の變化によるのであつて，Ion impermeable structure 即ち z_3 には殆んど變化が見られない．從つてその回路網である皮膚について見るならば，R_2 が增加するか減少するかによつて，側路の C も見掛け

上増減して Impedance の變化となるわけである．

私の測定値に於いても，直列等價回路で表現した場合．Impedance 上昇例に於いてはCの減少とRの増加が相伴つて存在し，又 Impedance 低下例に於いてはCの増加とRの減少が相伴つて存することが多いことは Cole の論説を或程度吾々の實驗成績の考察に加味さるべきことを示している．

然し，もし Ion impermeable structure が一定に保たれるとするならば，R_2 が如何に變化しようとも z_3 の位相角は一定に保たるべき筈であり，その回路網である皮膚に於いても，それ全體を一つの Cole の等價回路に置換えて，なお z_3 自體の位相角は一定に保たれなければならぬ．而して放射線障碍皮膚に於ける私の測定に於いては，位相角は必ずしも一定には保たれないのである．

2)　損失角について

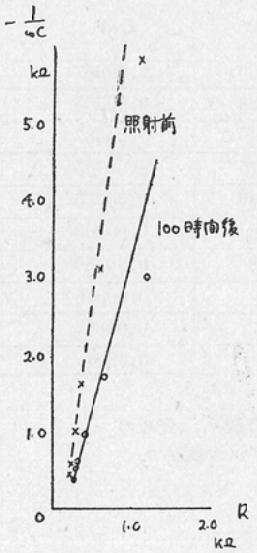
損失角とは位相角の餘角である．私がこゝに損失角なる語を用いる所以は，特定の單一周波數に於て，系全體についての Impedance のヴエクトル座標に屢ゝ用いられる位相角なる語と明確に區別したいためであり，又 z_3 自體に含まれる損失抵抗と直結する語であるからでもある．以後損失角とは z_3 自體の損失に由来するものとし，δ で表わすことにする．

緒論でも述べた通り，Cole の等價回路を Impedance 軌跡として表現すると，損失角が一定である限り，それは（圖２）に於ける δ で表わされるわけであるが，吾々の測定對象である人體皮膚を直徑數糎の圓盤を電極として測定する場合，圓弧の中心を求めるに足る軌跡部分を得ることの出来るのは，ごく限られた場合のみである．[15]

私の實驗に於いても（圖６）（圖８）などに示される紅斑期に於ける場合は，比較的多くの圓弧が與えられるので，圓弧の中心を求めて損失角を決定することが出来るが，（圖11）（圖12）などに示される様な Impedance 上昇例では，周波數の高い部分の軌跡部分を R_∞ に於ける圓弧の切線と看做して推定する以外に，方法は與えられなか

圖14　紅斑期皮膚の損失角推定

小澤氏，20歳♂：（前胸部へ 600r を一時照射した場合）



張氏，22歳♂：（前胸 300r × 10 分割照射した場合）

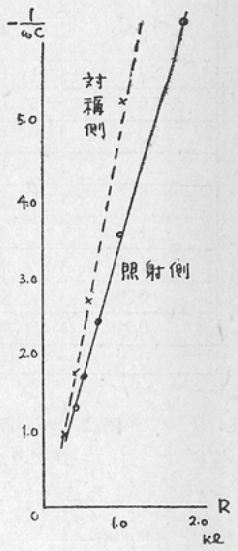
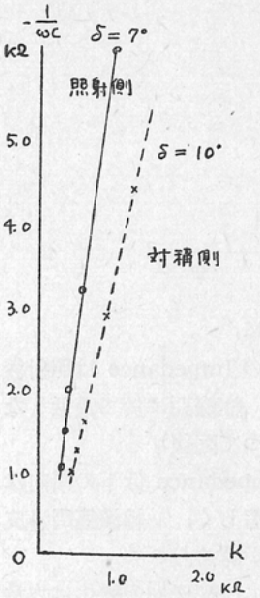
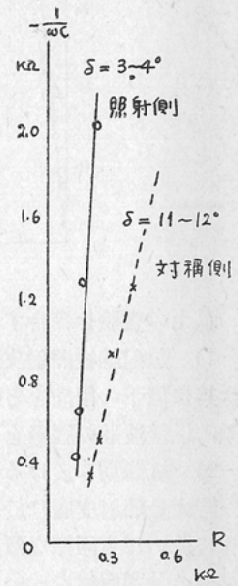


圖15　紅斑が消褪した後一定期間を經た皮膚の損失角推定

横山氏，44歳♀：（乳癌手術後照射１Kur終了2.5カ月後）



幾島氏，33歳♀：（乳癌手術後照射１Kur終了３カ月後）



つたのである．

(b) 實　驗

上述の如く，3KC～20KCの周波數に對するImpedance 軌跡を R_∞ に於ける圓弧の切線と看做した近似法で，損失角を求めた例が（圖14）（圖15）である．

（圖14）は紅斑期に於ける測定（圖6）（圖10）の症例に關する檢討であり，（圖15）は色素脱落期に於ける測定側に關する檢討である．こゝに前2者に於ては損失角の增大が，後2者に於ては損失角の減少が疑われるであろう．而して，こゝに圓弧法の裏付けを得ることの出來るのは，（圖14）の場合の紅斑期皮膚に於てのみである．

そこで私は側路抵抗 R_2 の高い皮膚に於ける損失角 δ を檢討する目的をもつて，直列ブリッジの側路として(圖16)の如く Rp を挿入した．今，損失を持つた容量として電解蓄電器を用いて Cole の等價回路を模型的に作成し，Rp を Parameter として軌跡を描かしめると，（圖17）の如くなる．この解析は又稿を新たにして報告するが，側路の Rp一之は直流抵抗を意味する一の抵抗値を Parameter として2～3の軌跡を描かしめるならば，その漸近線としてR∞に於ける圓弧の切線となるべき直線は求め得るわけである．（圖18）

この方法を用いて檢討したのが（圖19）に示す症例である．明らかに損失角の減少が認められるであろう．數例について檢討した結果，3KC以上の比較的高い周波數域の軌跡を直線と看做した測定値と略ゝ一致することが認められた．

なお，種々なる藥劑を用いても損失角は或程度變化せしめ得るのであつて，この方法に關する

圖16　損失角決定のために考案されたブリッジ回路

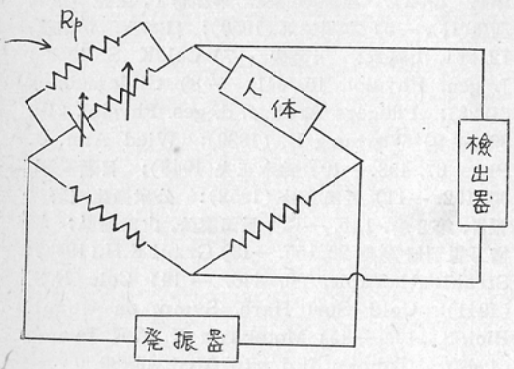


圖17　電解コンデンサーを用いた模型回路のインピーダンス軌跡（但し電解コンデンサーは耐壓350 V，容量3 μF の市販品10個を直列に接續した）．

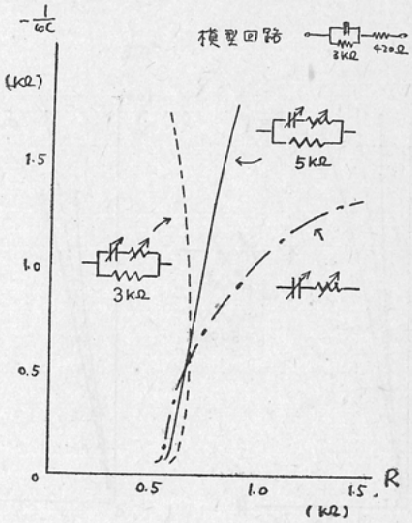


圖18　既知抵抗を媒介變數とした回路のヴェクトル軌跡圖

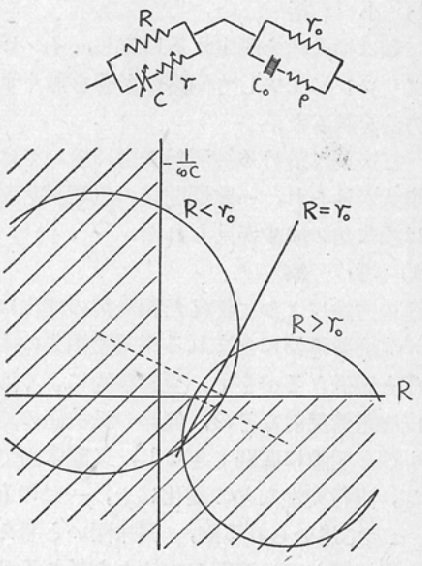
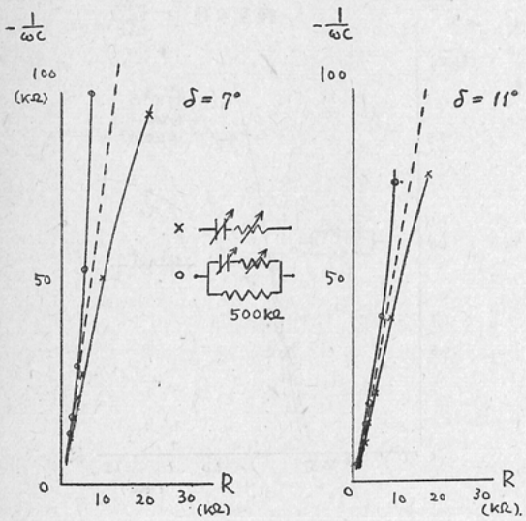


圖19 漸近線より求められた損失角
岡村氏，64歳♂：食道癌分割照射
300r×10，1 Kur 終了後1.5カ月
背部被照射皮膚　　對照，被照射皮膚より10cm下の背部



回路解析と共に近き將來に報告することを附記する。

(c) 小　括

1) 私は損失角を測定するに際し，インピーダンスブリツジに工夫して側路の影響を無くする新しい方法を試みた。

2) 紅斑期に於ける被照射皮膚に於いては損失角の增大が見られ，一定期間後の色素脱落期に於いては損失角の減少が見られた。

(d) 考　察

上述の方法によつて捉えた損失角の變化は，明らかに皮膚蓄電器に含まれる誘電體損失の本質的な變化と看做さるべきで，生理學的によく取扱われる皮膚電流反射などの，側路の抵抗値の變化を追うものと明瞭に區別できるし，又臨床面で皮膚の炎症，退行變性などの變化にも，一つの Indicator として用いられる點，興味深いと考える。このことに關しては演題の本旨から外れるので，今回はその具體例には觸れないが，皮膚蓄電器に關する本態論として後日總括報告する。

IV 結　論

私は常用の深部治療に於ける放射線被照射皮膚の電氣的特性を，治療患者を用いて檢討した。

1) 放射線被照射皮膚の Impedance は，照射後次第に低下の傾向をとり，紅斑期を最低として，以後波狀の經過をとつて回復する。

2) 紅斑期に於ける Impedance 低下の傾向は一時大量照射皮膚に於て著しく，レ線潰瘍周邊皮膚に於ても同樣な傾向が見られる。

3) 分割照射皮膚に於ては，紅斑期に於ける變化は大量一時照射の場合ほど著明でないが，一定期間を經た後に容量の減少が著しくなつて，著明な Impedance の上昇を示す。

4) 私は損失角を測定するに際し，インピーダンスブリツジに工夫して側路の影響を無くする新しい方法を試みた。而して紅斑期に於ける皮膚に於ては損失角の增大が見られ，一定期間後の色素脱落期に於ては損失角の減少が認められた。

附　記

本文の要旨は第13回及び第15回日本醫學放射線學會總會に於て發表した。又この研究に用いられた費用の一部は文部省科學研究費によつて賄われた。

終りに臨み，終始寬大懇切に御支援下さつた西岡教授はじめ教室諸先輩，また常に勞を惜しまず現在なお共同研究を續けている山崎助手に深謝する。又資料となつていただいた數十人の患者諸氏には，すでに他界せられた方々も多く，こゝに衷心より謝意を表すると共に，併せて冥福を祈る次第である。

文　獻

1) Gildemeister M. (1919): Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 176, 84. —2) Einthoven W. u. J. Bijtel (1923): Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 198, 439. —3) Hozawa S.(1928): Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 219, 111. —4) 朴澤進 (1952): 生理學講座，第2卷1，生體の電氣現象(II). —5) 本間三郎 (1950): 日本生理學雜誌，12, 261. 山崎武: 未發表. —7) ColeK .S.(1932): J. gen. Physiol. 15, 641. —8) Gildemeister (1928): Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 219, 89. —9) Warburg E. (1899): Wied Ann. d. Phys. 67, 493. —10) 鈴木正夫(1948): 日新醫學，35, 192. —11) 長田泰公 (1952): 公衆衞生院研究報告，第2卷，1, 5. —12) 長田泰公，山田進弘: 學術月報別冊資料，22, 155. —13) Graul E.H.(1953): Strahlentherapie, 90, 446. —14) Cole K.S. (1941): Cold Spr. Harb. Symp. on Quant. Biol. 8, 110. —15) Motokawa K. u K. Iwama (1947): Tohoku J. d. exp. Med. 49, 89.