

## 皮膚性状の電氣的解析

金沢大学医学部第二病理学教室(主任 石川大刀雄教授)

小田島 肅 夫

(昭和39年9月9日受付)

ある物質が与えられた場合、その電氣的性質は伝導率、誘導電率等の巨視的物質量として測定可能であり、これらの諸量は、また、外部からのパラメーター、電圧、周波数の関数として特徴づけられる。

一般に、電荷の移動が自由に起るものを導体と呼び、電荷の担体によつて電子伝導、イオン伝導に分類される。電子伝導が主である場合、その伝導度 $\sigma$ は次の式で示される。

$$\sigma = neu \quad n: \text{キャリアの数} \\ e: \text{電子の電荷} \\ u: \text{キャリアの易動度}$$

イオン伝導の場合、その伝導度 $\sigma$ は

$$\sigma = (A n_a u_a + k n_k u_k) e$$

$e$ : 電氣量

$n_a, n_k$ : 正負イオンの  $1\text{cm}^3$  の数

$u_a, u_k$ : 正負イオンの易動度

$a, k$ : 正負イオンの化学価

として与えられ、いずれの場合もオームの法則に従うものである。

これに対して絶縁体は、電荷が外部電場に対して、微視的変位にとどまるもので、これを誘電性といい、電界強度 $E$ 、誘電分極 $P$ 、電氣変位 $D$ とすれば、

$$D = E + 4\pi P$$

$$D = \epsilon E$$

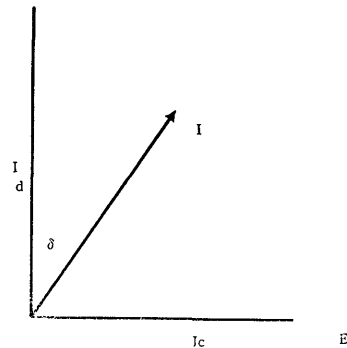
で示される。この場合誘導率 $\epsilon$ は物質の種類によつてきまり、物質の誘電性を表わす測定可能な物質量である。

今かりに、2枚の平行板電極間に伝導度 $k$ 、誘導率 $\epsilon$ なる物質を挿入し、正弦波交流電圧  $V_m \sin \omega t$  を負荷したとしよう。この場合、電界に従つて伝導電流 ( $I_k$ ) と誘電性に基づく変位電流 ( $I_e$ ) とが流れる筈である。変位電流は電氣的変位の時間的変化率  $\frac{dD}{dt}$  で与えられる。

$$I_k = kV = k V_m \sin \omega t$$

$$I_e = \frac{dD}{dt} = \epsilon \cdot \frac{dV}{dt} = \epsilon \omega V_m \cos \omega t$$

第1図



数式からも明らかなように、変位電流は周波数によつてその値をかえ、伝導電流に対して  $90^\circ$  の位相差を示す。第1図はそのベクトル図で、変位電流を基準にとると全電流  $I$  の位相差は損失角  $\tan \delta$  で示される。

従つて皮膚の電氣的性質も一応、伝導電流、変位電流及び損失角で示すことができる筈である。このような立場から、交流及び脈波電圧負荷によつて、皮膚の分極性及びその電氣的性質を検討し、更にこれら電氣的性質の存在部位、あるいはその物性的性質の解析の手がかりを得るために、電圧、形態学的変化及び種々の化学物質作用に対応する皮膚の電氣的性質について吟味した。

## I 正弦波交流に対する皮膚の性質

## (1) 測定理論及び装置

物質の電氣的性質は伝導電流、変位電流及び損失角(または位相角)として理解すべきである。電氣工学的には第2図の如く、容量と抵抗の並列回路として取扱われる。即ち、等価容量、等価並列抵抗をそれぞれ  $C$  及び  $R$  とすれば全電流  $I$  は、

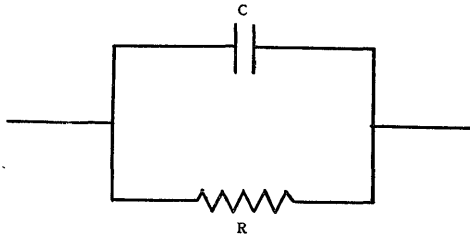
$$I = IR + IC$$

$$IR = \frac{V}{R} = G \cdot V_m \sin \omega t \quad G = \frac{1}{R}$$

$$IC = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{dV}{dt} = \omega C V_m \cos \omega t$$

故に全電流  $I$  は、

第 2 図



$$I = V_m(G \sin \omega t + \omega C \cos \omega t)$$

$$= \sqrt{G^2 + (\omega C)^2} V_m \left\{ \sin \omega t \cdot \frac{G}{\sqrt{G^2 + (\omega C)^2}} + \cos \omega t \cdot \frac{\omega C}{\sqrt{G^2 + (\omega C)^2}} \right\}$$

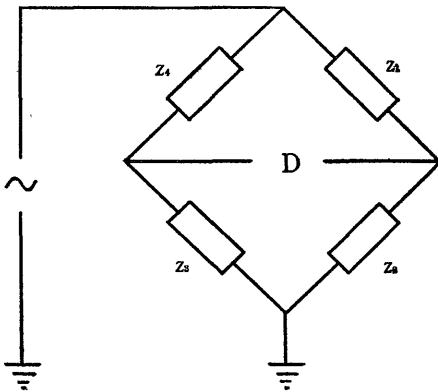
$$= \sqrt{G^2 + (\omega C)^2} V_m \sin(\omega t + \phi)$$

但し  $\phi = \tan^{-1} \omega CR$

実際の測定では、インピーダンスブリッジを用いて、抵抗と容量を並列回路として求め、その比として損失角または位相角を計算する。

私共は皮膚を計測するため新たに皮膚インピーダンス測定ブリッジを開発したが、すでに坂東<sup>1)</sup>によって詳しく報告されているのでその概略を記すと、第3図

第 3 図



のような回路での平衡条件は

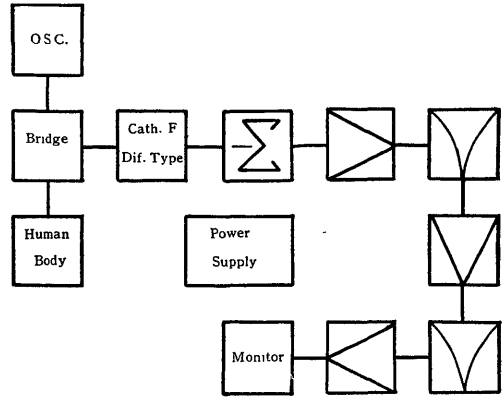
$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

実数部、虚数部はそれぞれ等しいから、容易にC及びRを直読できる。私達の皮膚インピーダンスブリッジは、生体皮膚測定という特殊条件から特に次の諸点を考慮してある。

1. アース端子
2. 入力インピーダンス
3. 周波数特性

なお、この装置の測定誤差は10c~50kcの範囲で±2%であり、全体のブロックダイアグラムは第4図

第 4 図



に示してある。

実際に使用した正弦波交流発振装置は、木村高周波研究所製の Model CR1-1A 型で、周波数範囲 1c~1Mc, 周波数誤差±1%以内、周波数安定度は 10<sup>-4</sup> である。

(2) 測定対象及び方法

人体皮膚インピーダンスの測定にあたって問題となるものは色々考えられるが、就中次の諸点である。

- 1) 汗腺活動による表面抵抗
- 2) 皮膚と電極面との接触
- 3) 皮膚性状の時間的变化
- 4) 個体差、部位差

このために、測定室温は 20°C 前後とし汗腺活動の有無は和田・高垣氏法<sup>2)</sup> によって確かめた。電極は直径 2.0mm の銀-塩化銀電極で、直径 2cm の円筒形プラスチックの中心にはめこみ、皮膚接触面にはゆるい彎曲をもたせるように加工した。不関電極は 50cm<sup>2</sup> の銀-塩化銀電極で下肢に装着した。

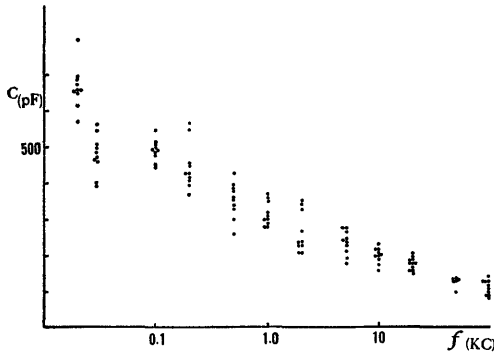
測定対象は正常成人前腕内側部の一定領域を規定し、同一対象について適当に選んだ周波数それぞれについて at random に10箇所ずつを選んで測定し、同一点についての全周波数連続測定は行なわないようにした。実際の測定では、開始前30分に純アルコールで測定部を清拭し、電極装着後5分で測定した。電極と皮膚面の接触をよくするため電極に 30g の重さを負荷した。測定電圧、周波数は目的に応じて適当なものを選び、その条件はその都度記載した。

(3) 実測値

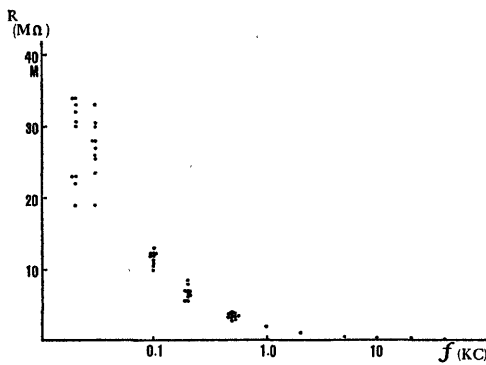
正常人体皮膚における交流インピーダンス、C, R, tan δ と周波数 f の関係を調べた。測定電圧は 1Vp-p, 測定周数は、20, 100, 200, 500, 1k, 2k, 5k, 10k, 20k, 50k である。

第5図 a, b, c (第1表) は log f に対して、C,

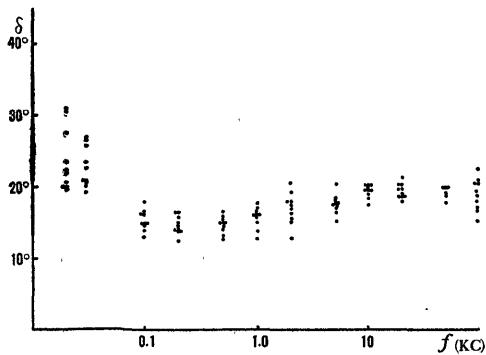
第 5 図 a



第 5 図 b



第 5 図 c



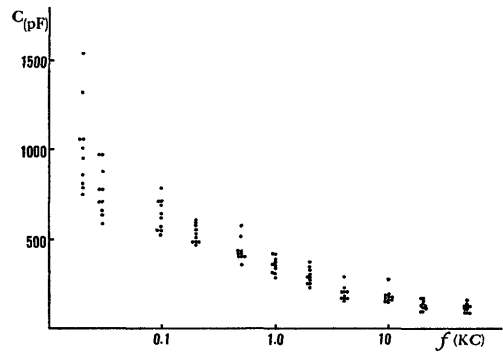
R 及び  $\tan \delta$  の各測定値をプロットしたものである。C は 20c ではば 650 pF の値を示し、 $f$  増加と共に急激に減少するが、特に低い周波数域 (20~200c, 200 c~2kc) で著明であり、中間周波数域 (2~20kc) では緩やかに減少し、50kc 以上では一定値に近づく傾向を示す。即ち、 $f$  に対する減少の度合が周波数域によつて異なり、20~200c, 200c~2kc, 2~20kc, 50kc 以上の 4 つの変化群に分けられる。各周波数における測定値のバラつきは、低い周波数域で著しいが、 $f$  増

加と共に小さくなる。R の絶対値は低い周波数域で  $10^7 \Omega$ 、高い周波数域で  $10^4 \Omega$  でその  $\log f$  に対する変化は C におけると同様に  $f$  増加と共に急激に減少する。減少の周波数域による相違は C におけるほど著明でない。測定値のバラつきは低い周波数域で著しい。

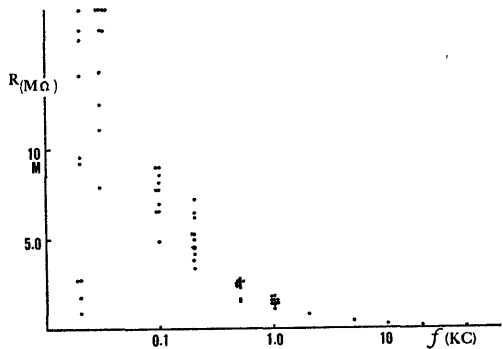
$\tan \delta$  は低い周波数域では  $20^\circ \sim 30^\circ$ 、100~500c で  $15^\circ$  前後で、ほぼ直線的に推移し 1~2kc 以上でゆるやかに増大し 20kc 以上では  $20^\circ$  と一定値になる。各測定値のバラつきは、C や R に比して極めて小さい。

第 6 図 c, b, c (第 2 表) は同様の条件で個体によ

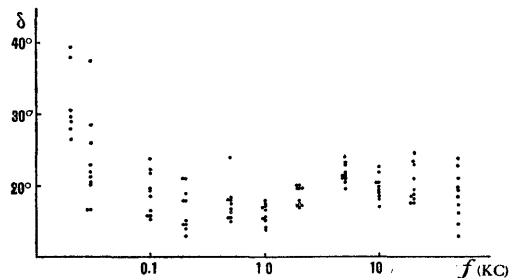
第 6 図 a



第 6 図 b



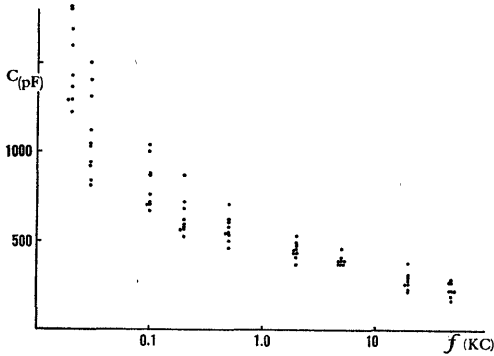
第 6 図 c



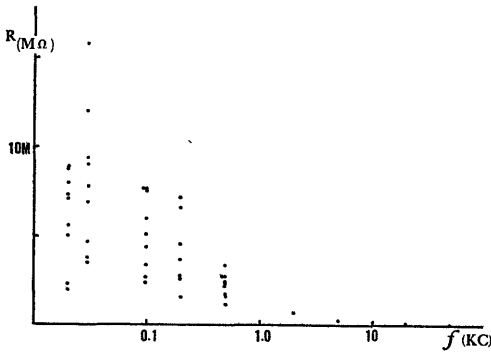
る違いを見たものである。各測定値の  $\log f$  に対する傾向は前とほぼ同様であるが、低い周波数域と高い周波数域における傾向は必ずしも一様でない。特に  $\tan \delta$  において、30 c は以上では急激に減少し 200c ~ 1kc では多少の凹凸があるが、直線的で、それ以上  $f$  が増加すると増大し 10kc 前後で極大値をとる。

第7図 a, b, c (第3表) は室温 26°C で測定したものであるが、全周波数にわたってCが大きくなり、特に低い周波数域で著明である。その  $\log f$  に対する変化はなめらかとなる。

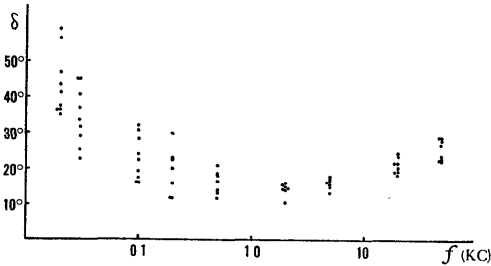
第7図 a



第7図 b



第7図 c



Rは低い周波数域で著明に低下し、20~100c の間で極大値をとる。 $\tan \delta$  は低い周波数域で絶対値が大となり (30°~40°), その  $\log f$  に対する軌跡もなめらかとなる。

(4) 測定値の解析

1) 分極性

このように測定された諸量が、著明な周波数依存性を示すことは、物理学的には次のように説明される。物質は電荷をもった多くの電子、イオンの集合体であるが、外部電場が作用すると、それに応じて電氣の現われる所ができる。これを分極と名付ける。平行板電極間に電媒質を入れて、外部から電場を作用させると、その内部ではお互いに打消し合い、極板に接した両面に電荷  $Q_1$  が現われる。電媒質のないときの電荷  $Q_0$  とし、分極にある電荷を  $Q_2$  とすると

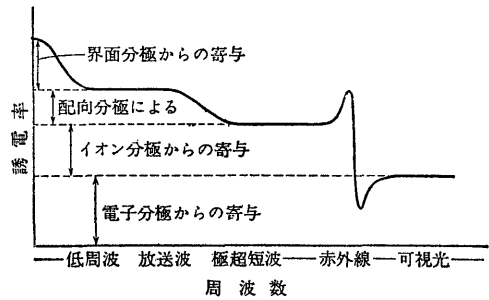
$$Q_1 = Q_0 + Q_2$$

従つて  $Q_1 = \epsilon C_0 V$

$$Q_0 = C_0 V$$

であることから、挿入された物質によつて分極電荷に相異があり、それに応じて容量もかわる。分極はすでに述べたように、荷電体の変位によつても、性質の異なる2つの物質の境界面にも生ずるから、物質が含む荷電体の性質や構造によつても分極の性質は異なる筈である。物理学的には、電子分極、イオン分極、配向分極、界面分極に大別される。第8図(沢口<sup>3)</sup>による)

第8図



はこれを模式図的に示したものである。図からも明らかであるが分極は加算性で、著しい周波数依存性を有し、低い周波数域ではいずれの分極も現われ得るが、 $f$  増加と共に界面、配向、イオン、電子の各分極の順に消失する。測定される物質によつても異なるが、界面分極は超低周波から低周波域まで、配向分極はほぼ  $10^6$  サイクルまで、イオン、電子分極は、光学的振動領域以上と理解される。

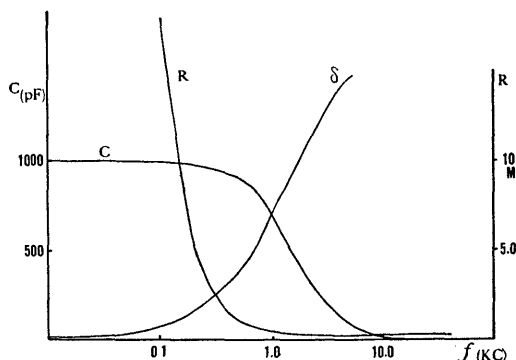
このような立場で、実測された諸量を検討すると、

その絶対値は測定対象によつて必ずしも一様でないが、 $f$  に対して一定の傾向を示す。即ち、 $20\sim 200c$ ,  $200c\sim 2kc$ ,  $2k\sim 20kc$ ,  $50kc$  以上の4つの分極性を含み、これらが各々個有の周波数域を有し、 $f$  増加と共に順次消失すると考えられる。また、これらの分極はその測定周波数から、界面分極、配向分極の両者に由来するものであろうが、それぞれを明確に指摘することはできない。

一方、皮膚についての分極現象は、主として金属と電解液の界面分極を研究対象とする分極池の実験をモデルとして考究されて来た。Kohlrausch<sup>4)</sup> は交流に対する分極池の電気的性質は、CとRの直列結合によつて示し得るとし、Weber<sup>5)</sup> は可逆電極の実験から、分極は電極附近に起る濃度変化によるとした。また、Krüger<sup>6)</sup> は電極と電解液の界面にイオン集積による電気二重層が形成されることを認め、これは普通の蓄電池と同様に取扱い得るとした。Stern<sup>7)</sup> は二重層容量と濃淡による拡散容量の組合せについて吟味し、イオンの一部は二重層容量を、残りは濃淡による拡散分布をなすとした。Jonsen 及び Gortner<sup>8)</sup> は双極子についてもほぼ同様であるとしている。Weber や Krüger の理論は Lullies<sup>9)</sup>, 朴沢<sup>10)</sup> らによつて、そのまま生体皮膚に適用されている。

皮膚の分極性は、著しい周波数依存性を示すが、電気工学的には分極池において見出されたと同じようにCとRの直列回路を含むということは、 $\log f$  に対するC, R及び $\tan \delta$ の態度から容易に推定される。しかし、その軌跡の複雑さから単純な分極池と同じように取扱うのは困難である(第9図参照、図はC, R

第 9 図

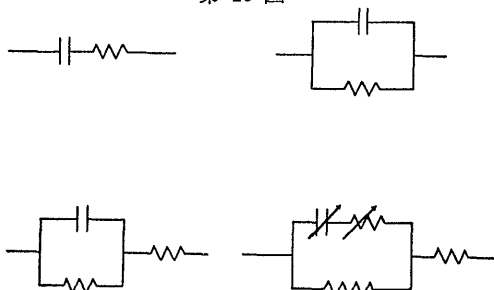


直列回路における諸量の $\log f$ に対する軌跡である)。このことは皮膚の形態学的あるいは化学的性質の複雑さからも当然である。

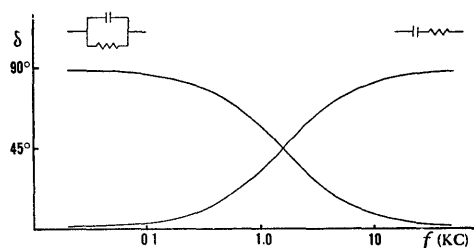
## 2) 電気工学的解析—等価回路

物質の電気的性質を理解または説明するのに等価回路を利用すると都合がよい。過去における皮膚の電気的性質の研究はそのまま等価回路の吟味であつたし、事実多くの等価回路が提示されている(Gildemeister<sup>11)</sup>, Hozawa<sup>12)</sup>, McClendon<sup>13)</sup>, Cole<sup>14)</sup>)。第10図はこれらを集約したものである。

第 10 図



第 11 図



電気工学的には、C, Rの基本的な結合方法は2種類である。1つは並列結合であり、他の1つは直列結合である。これら基本型の $\tan \delta$ の周波数特性は第11図の如くで、全く相反する傾向を示す。従つて、これらの回路の色々な組合せによつて、C, R及び $\tan \delta$ の $\log f$ (周波数)に対する軌跡は、複雑ではあるがその構成要素に対応する特性が示される筈である。ここでCa, Ra 並列回路を基本回路として色々な回路について検討した。(数式省略)

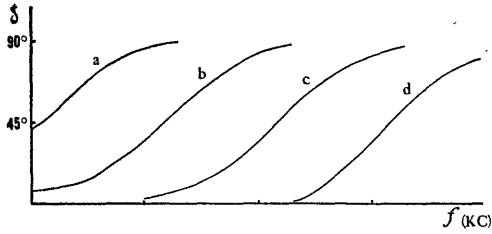
### (a) C, R 直列回路

この回路では、Ca は  $f \rightarrow 0$  で  $Ca = C$ ,  $f \rightarrow \infty$  で  $Ca = 0$  となる。Ra は  $f \rightarrow 0$  で  $Ra = \infty$ ,  $f \rightarrow \infty$  で  $Ra = R$  となり、 $\tan \delta$  は  $f \rightarrow 0$  で  $0^\circ$ ,  $f \rightarrow \infty$  で  $90^\circ$  に近づく。第12図は  $\tan \delta$  を示標として時定数( $R \cdot C$ の積)の種々な値による $\log f$ 特性を示したものである(図におけるaは時定数が最も大きくb, c, dの順に小さくなる)。

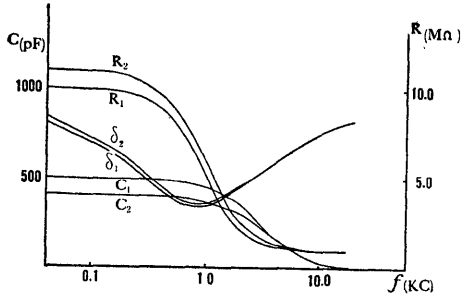
(b) C, R 直列回路に r が並列に存在する場合、あるいは Cr 並列回路に R が直列に存在する場合。

この2つの回路は R, r の絶対値によつて低い周波

第 12 図

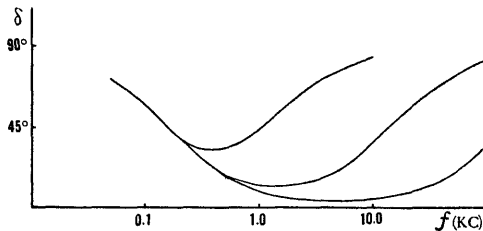


第 13 図



数域で多少の相違があるが、第13図に示すように本質的には同じものとして取扱うことができる (C<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>, δ<sub>1</sub> は CR 直列回路に r が並列に存在する場合、C<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>, δ<sub>2</sub> は Cr 並列回路に R が直列に存在する場合)。Ca は CR 直列回路と同様の特性を示すが、Ra は f→0 で r の値に近づき、f→∞ で R の値をとる。tan δ はある f で極小値をとり、それを中心として f 増加、あるいは減少と共に単調に増大する。この場合、第14図

第 14 図

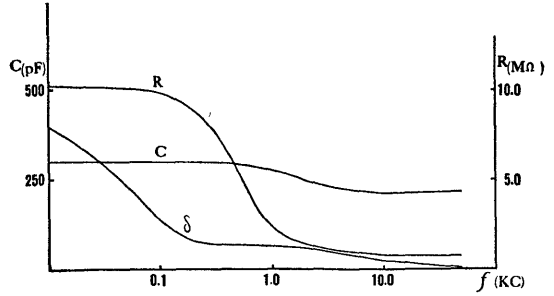


からも明らかであるがその軌跡は Cr の時定数によって大きくかわる。

(c) CR 並列回路が直列に結合した場合

この回路は各系の CR の値によつて一様でないが、各系の CR の積を 3.0ms, 0.07ms とした場合の C, R 及び tan δ の log f に対する軌跡は第15図に示す如くで、Ca は低い周波数域で一定値をとり、ある周波数域で段階的に減少し f 増加と共に一定値に近づく。Ra もほぼ同様である。tan δ は各系の CR の値によつて必ずしも一様でない。

第 15 図



(d) CR 直列回路が n 個並列に結合した場合  
CR 直列回路が n 個並列に結合した場合について吟味する。数式的には

$$Y = \frac{Rn(\omega Cn)^2 + j\omega Cn}{1 + (\omega Rn Cn)^2}$$

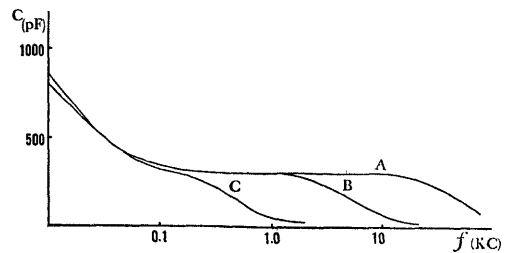
$$= \left[ \sum_n \frac{Rn(\omega Cn)^2}{1 + (\omega Rn Cn)^2} \right] + j\omega \left[ \sum_n \frac{Cn}{1 + (\omega Rn Cn)^2} \right]$$

$$\tan \delta = \frac{\sum_n \frac{Rn(\omega Cn)^2}{1 + (\omega Rn Cn)^2}}{\sum_n \frac{Cn}{1 + (\omega Rn Cn)^2}}$$

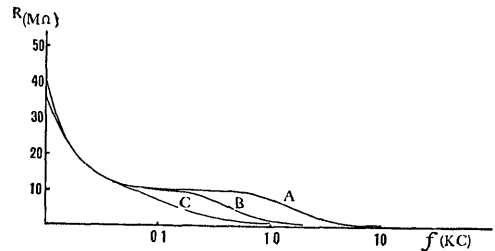
で表わされる。

上式から明らかであるが、実数部、虚数部ともに周波数依存性が強く、Ca は f→0 で一定値をとり、f→∞ で 0 になる。Ra は f→0 で ∞, f→∞ で一定値となる。tan δ は各構成要素 Cn, Rn によつて必ずしも一様でない。第16図 a, b, c は時定数 7.0msec の CR 直列回路に A は時定数 0.003ms, B は 0.03ms, C は 0.3ms の CR 直列回路をそれぞれ並列に結合し

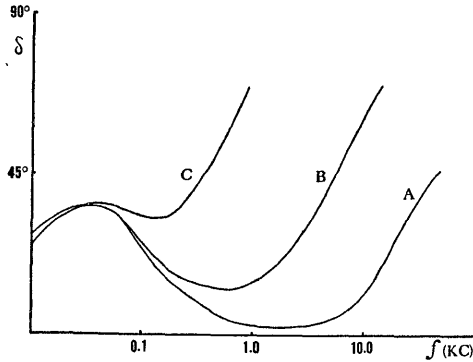
第16図 a



第16図 b



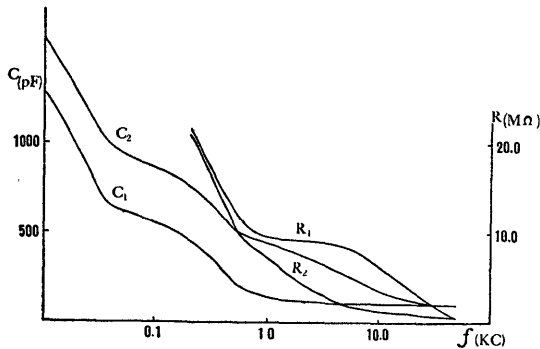
第16図 c



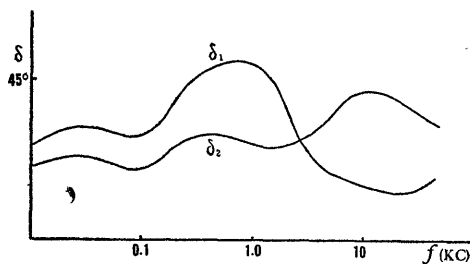
たものである。2つの系の時定数の差が大きい A, B では  $C_a, R_a$  の  $\log f$  に対する軌跡から容易に2つの系の存在を想定することができるが, Cで示されるように, 2つの時定数の差が小さくなると各成分を明確に判別することはできない。

次に CR 直列回路が3つ並列に結合した場合 (時定数 10.0ms, 0.5ms, 0.001ms) について見ると, 第17図の  $C_1, R_1$  及び  $\delta_1$  の如くその時定数に応じての

第17図 a



第17図 b



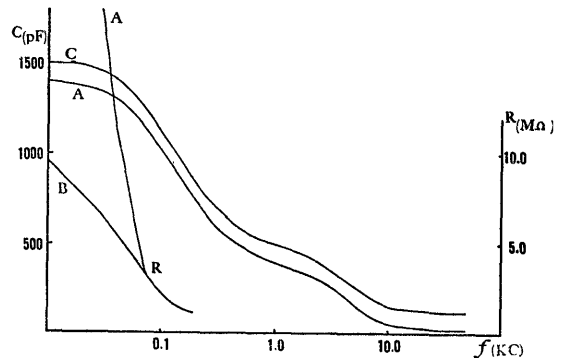
$\log f$  に対する変化がよくわかる。この回路に 0.05 msec の時定数の第 4 の直列回路を挿入すると図の  $C_2, R_2$  及び  $\delta_2$  の如くで, 1~2 kc 域で著しく変化する

る。これらのことから C, R の積と  $f$  の相関が明らかとなる。即ち, C, R の  $\log f$  に対する態度は, 時定数 10ms 以上は 100c まで, 0.5ms は 1kc まで 0.05 ms は 20kc まで, 0.001ms は更にそれ以上まで実測される  $C_a, R_a$  に影響する。  $\tan \delta$  は上記と並行した周波数特性を示し, 各成分の時定数に応じて, それぞれの周波数域で減少→極小→増大の変化を示す。

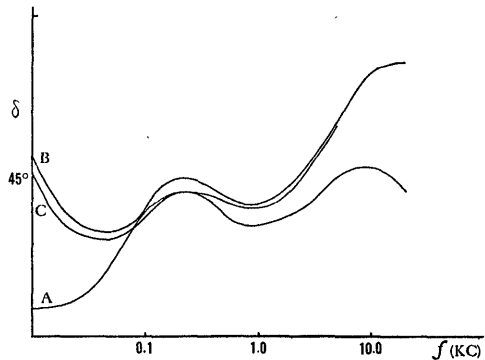
(e) n 個の CR 直列回路に抵抗  $R_o$ , あるいは容量  $C_o$  が並列に結合した場合

時定数 1.0ms, 0.04ms の2つの CR 直列回路系の並列結合したものを基準として  $R_o, C_o$  をそれぞれ挿入し,  $\log f$  に対する  $C_a, R_a$  の値をプロットすると第18図 a, b の如くである。  $R_o$  を挿入すると (図の

第18図 a



第18図 b

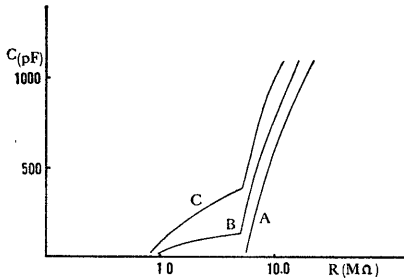


B) 低い周波数域では  $R_a$  は  $R_o$  に近づき, その影響する周波数範囲は  $R_o$  の絶対値によつてきまる。  $C_o$  を挿入した場合は数式的にも容易に理解されるが,  $C_a$  の絶対値は全周波数にわたつて増大するが (図の C), その  $\log f$  に対する軌跡はかわらない。従つて  $\tan \delta$  は  $R_o$  の挿入により低い周波数域で大きくかわり,  $C_o$  の挿入によつて, 特に高い周波数域での変化が著しく, 極大値をとるようになる。

以上 Ca, Ra 並列回路を基準として色々な時定数を想定し, 各回路について検討したが, 皮膚の等価回路として提示されている CR 直列, あるいは直並列回路は, ある限られた周波数範囲では成り立つが, 全周波数にわたる統一的な説明には不十分である.  $\log f$  に対する C, R の階段的变化や  $\tan \delta$  の不規則性からみて, 皮膚の等価回路は時定数の差が少ない CR 直列系が 3~4 個以上並列に結合したもので, その測定条件によつて並列抵抗を考慮すべきである.

更にこれらの CR 直列回路の組合せられたものについて, 各 CR 直列回路を判別する簡便法として, 各周波数において計算された Ca, Ra の相関を調べた. 第19図は縦軸に Ca を, 横軸に  $\log Ra$  をとり, 時定数

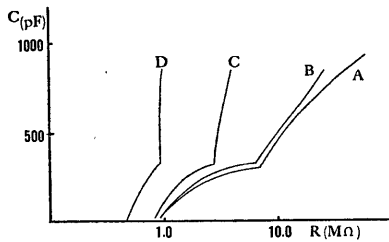
第 19 図



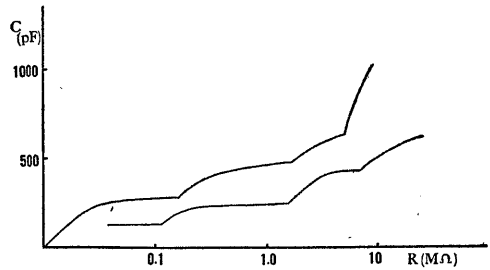
10ms の回路を基準として色々な時定数の CR 直列回路を並列に組合せたものである (A は 5.0ms, B は 0.5ms, C は 0.05ms). A の如く時定数に差がないと各回路の判別は不能で C, R の各々の合成として取扱つてもよく, B, C のように時定数の差がある値より大きいと, 各回路を容易に判別することができる. 第20図は2つの CR 直列回路の並列結合を基準として色々な  $R_o$  を並列に挿入した場合であるが, 低い周波数域での変化が著明で,  $R_o$  の値によつてもその形かわる (図におけるAは  $R_o = \infty$  の場合, B, C, D の順で  $R_o$  の絶対値が小さくなる).

この方法を実測した皮膚の平均値について吟味する

第 20 図



第 21 図



と, 第21図の如くで明らかに各直列回路を判別でき, 分極性の場合と同様にほぼ4つの直列回路から成り立つことがわかる.

なお, cole による等価回路については, 測定基準, 測定方法の違いからそのまま比較検討することはできないが, 理論的にはC及びRが $f$ と共に変化すると考えても, また, 時定数の差が少ないn個CRの直列回路の合成とし取扱つてもよいわけである.

## II 脈波に対する皮膚の性質

### 1. 測定理論及び装置

脈波電圧を負荷して皮膚に流れる電流を観察すると所謂初期の尖角について指数函数的に減少し, やがて一定値に移行する電流を認める. このことは電気工学的にはかなり限定された意味を有する. 即ち, 何らかの形で CR 直列回路を含むということである. CR 直列回路の数式的解は,

$$Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = E$$

$$Ri + \frac{1}{PC} i = E \cdot I$$

$$i = \frac{E \cdot I}{R + \frac{1}{PC}} = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{RCP}} \cdot I$$

$$= \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{R + \frac{1}{PC}} \cdot I$$

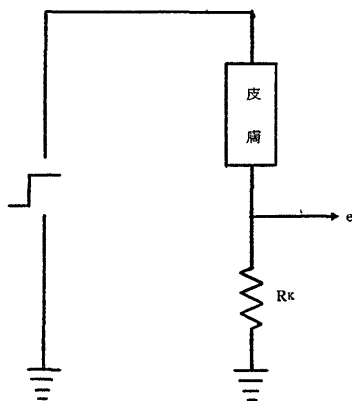
$$a = \frac{1}{RC} \text{ とし演算公式 } \frac{P}{P+a} \cdot I = e^{-at} \text{ より}$$

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

これは  $\log i$  が  $t$  に関して常に直線であることを示す. これから C, R を算出することは容易である. 第22図はこれを解析するための装置の概略であるが, 皮膚を通して流れる電流は  $R_k$  の端子に現われる電圧  $e$  を増幅して, ブラウン管面上で観測される. この場合, 問題となるのはパルスの立上り時間と増幅器の周波数特性である. パルス発生装置は東芝中央研究所の三浦, 竹村両博士の御指導によりマルチバイブレータ



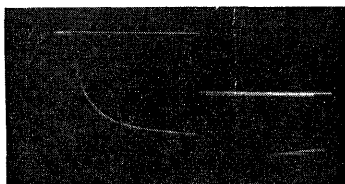
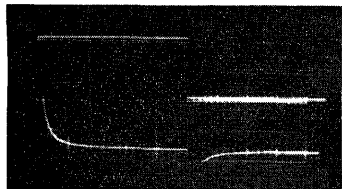
第 22 図



一回路を応用して、立上り時間  $0.1 \sim 0.3 \mu\text{sec}$  のものを試作した。観測用増幅器としては日立 P101 B 型シンクロスコープを用いた。その仕様は立上り時間  $10 \mu\text{sec}$ 、周波数特性 DC $\sim$ 24 MC まで  $\pm 1 \sim 3\text{dB}$  以下、偏向感度  $0.05 \text{ V/cm}$ 、掃引速度は  $0.1 \mu\text{s/cm} \sim 5 \text{ s/cm}$  まで連続可変可能である。

実際の測定ではすべて波形は写真撮影後拡大して各時間における電流値を読みとるようにした。第23図は

第 23 図

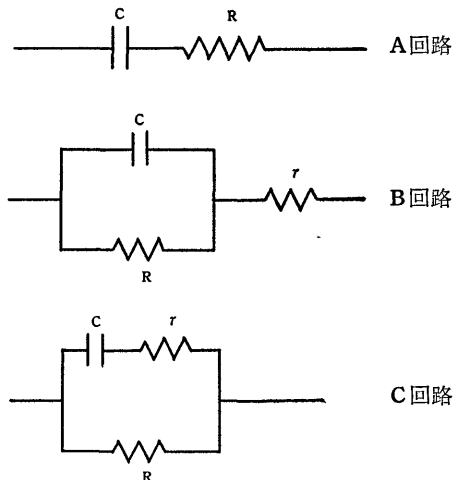


パルス電圧の波形 (Duration 1.0 msec) と皮膚に流れる電流を同時に記録したものである。

## 2. 実測値及びその解析

パルス法によつて皮膚の電氣的性質を測定しようとする試みは、Einthoven & Bijtel<sup>15)</sup>、朴沢<sup>16)</sup>、橋田<sup>17)</sup>、若林<sup>18)</sup>らにより詳しく研究され、また、本間<sup>19)</sup>、中西<sup>20)</sup>により実際的に応用されている。その場合、 $\log i$  と  $t$  の間の直線性はある限定された範囲でのみ成り立つとされ、直線性の成り立たない範囲についての検討は行なわれていない。また、その解析の基本と

第 24 図



なる等価回路を色々提示しているが、 $\log i$  と  $t$  の間に直線関係が成立しない以上、そのような等価回路の設定は無理である。

試みに第24図A回路を基本とする色々な回路について数式的解析を行なつた。第22図の装置で  $R_k$  端子に現われる電圧を  $e$  とすれば、

B回路では

$$e = [et - 0 - et = \infty] e^{-\frac{t}{\tau}} + et = \infty$$

$$\tau = C \times \frac{R(r + R_k)}{R + r + R_k}$$

C回路では

$$e = [et - 0 - et = \infty] e^{-\frac{t}{\tau}} + et = \infty$$

$$\tau = C \left( r + \frac{R \cdot R_k}{R_k + R} \right)$$

で示され、 $et = \infty$  を減算すると、 $\log i$  と  $t$  は常に直線関係が要求される。即ちこのような回路では皮膚の測定における  $\log i$  の直線からのずれは説明できないし、また、等価回路としても成立しない。

次に交流における等価回路の吟味から、CR 直列回路の並列結合について考慮せねばならない。簡単にするために CR 直列回路の2つの組合せについて数式的解析を試みた。

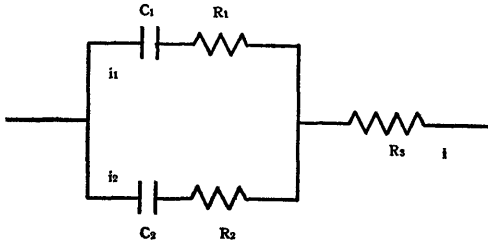
第25図において  $t=0$  で  $C_1, C_2$  に電荷がないものとする

$$\begin{cases} \frac{1}{C_1} q_1 + R_1 i_1 + R_3 (i_1 + i_2) = E \\ \frac{1}{C_2} q_2 + R_2 i_2 + R_3 (i_1 + i_2) = E \end{cases}$$

$$i_1 = \frac{dq_1}{dt}, \quad i_2 = \frac{dq_2}{dt} \quad \text{とすれば}$$

$$\frac{1}{C_1} q_1 + R_1 \frac{dq_1}{dt} + R_3 \left( \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt} \right) = E$$

第 25 図



$$\frac{1}{C_2}q_2 + R_2 \frac{dq_2}{dt} + R_3 \left( \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt} \right) = E$$

ラプラス変換  $q(t) \rightarrow Q(p)$  とすると

$$\left( \frac{1}{C_1} + PR_1 + PR_3 \right) Q_1 + PR_3 Q_2 = E(p)$$

$$PR_3 Q_1 + \left( \frac{1}{C_2} + PR_2 + PR_3 \right) Q_2 = E(p)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{1}{C_1} + P(R_1 + R_3) & PR_3 \\ PR_3 & \frac{1}{C_2} + P(R_2 + R_3) \end{vmatrix}$$

$$= \left\{ \frac{1}{C_1} + P(R_1 + R_3) \right\} \left\{ \frac{1}{C_2} + P(R_2 + R_3) \right\} - P^2 R_3^2$$

$$= (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) P^2 + \left( \frac{R_2 + R_3}{C_1} + \frac{R_1 + R_3}{C_2} \right) P + \frac{1}{C_1 C_2}$$

$$\Delta Q_1 = \begin{vmatrix} E(p) & PR_3 \\ E(p) & \frac{1}{C_2} + P(R_2 + R_3) \end{vmatrix}$$

$$= E(p) \left\{ \frac{1}{C_2} + P(R_2 + R_3) - PR_3 \right\}$$

$$= E(p) \left( \frac{1}{C_2} + PR_2 \right)$$

同様に

$$\Delta Q_2 = E(p) \left( \frac{1}{C_1} + PR_1 \right)$$

$$Q_1 = \frac{\frac{1}{C_2} + PR_2}{\Delta} \cdot E(p)$$

$$Q_2 = \frac{\frac{1}{C_1} + PR_1}{\Delta} \cdot E(p)$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + P(R_1 + R_2)}{\Delta} \cdot E(p)$$

$$I_1 + I_2 = P(Q_1 + Q_2)$$

$$E(p) = \frac{1}{P} \cdot E$$

であるから

$$I_1 + I_2 = \frac{P(R_1 + R_2) + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}{AP^2 + BP + C} \cdot E$$

$$A = (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1)$$

$$B = \frac{R_2 + R_3}{C_1} + \frac{R_1 + R_3}{C_2}$$

$$C = \frac{1}{C_1 C_2}$$

$$I_1 + I_2 = \frac{E(R_1 + R_2)}{A} \cdot \frac{P + \frac{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}{R_1 + R_2}}{P^2 + \frac{B}{A} \cdot P + \frac{C}{A}}$$

$$= \frac{E(R_1 + R_2)}{A} \cdot \frac{P + \gamma}{(P - \alpha)(P - \beta)}$$

$$\text{但し } \gamma = \frac{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}{R_1 + R_2}$$

$$\alpha \cdot \beta = \frac{1}{2} \left\{ \frac{-B}{A} \pm \sqrt{\left( \frac{B}{A} \right)^2 + 4 \frac{C}{A}} \right\}$$

従つて全電流  $i$  は

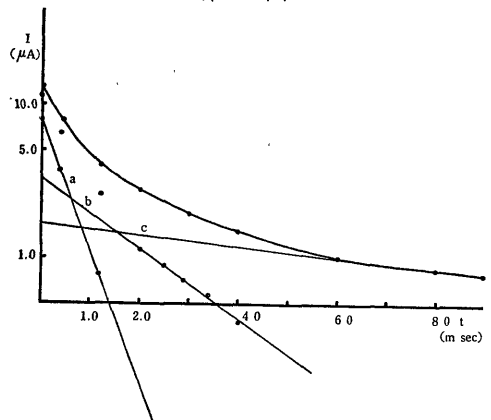
$$i = \frac{E(R_1 + R_2)}{(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1)} \cdot \frac{(\gamma + \alpha)e^{\alpha t} - (\gamma + \beta)e^{\beta t}}{(\alpha - \beta)}$$

即ち、全電流は異なる定数をもつ2つの電流からなるものである。数式は2つの直列回路の組合せについてであるが、各時定数が適当な違い（交流の項で述べた）を有する直列回路でも同様である。従つて皮膚測定において観察された直線性からのずれは、定数の異なる電流の合成によるとすれば容易に理解される。なお、電気工学的モデル実験でもこれらを実証し得た。

次に、成人皮膚について交流と同様の条件で測定した結果について吟味した。測定電圧は 1.0V, Duration は 1.0msec である。

第26図は  $\log i - t$  についての関係を示したもので、

第 26 図



その間に直線関係は認められず幾つかの定数の異なる電流 (a, b, c) の合成したものととして解析可能であることを示す。実際には各例についての数式的解析は

困難で、作図法による近似計算によつて各系の CR を算出した (第 4 表). 表は CR 直列回路の時定数の小さいものから順に  $\alpha'$  系,  $\beta'$  系,  $\gamma'$  系とし, その方向性を考慮し電極から皮膚への電流を  $\oplus$ , 皮膚から電極への電流を  $\ominus$  とした.

測定値の平均は  $\oplus$  の場合,  $\alpha'$  系 ( $R_1=0.0648M\Omega$ ,  $C_1=170pF$ ),  $\beta'$  系 ( $R_2=0.647M\Omega$ ,  $C_2=130pF$ ),  $\gamma'$  系 ( $R_3=2.75M\Omega$ ,  $C_3=397pF$ ),  $\ominus$  の場合,  $\alpha'$  系 ( $R_1=0.0485M\Omega$ ,  $C_1=211.6pF$ ),  $\beta'$  系 ( $R_2=0.509M\Omega$ ,  $C_2=164pF$ ),  $\gamma'$  系 ( $R_3=3.46M\Omega$ ,  $C_3=388pF$ ) である.

これらの結果をそのまま交流の結果と対応できないが, 電気工学的に等価回路, 各 C, R の値及び時定数についてもよく似た結果である.

次に電場の方向にある測定値の差 (特に  $C_1$  と  $C_3$ ), 即ち極性が存在することは, 分極の成立機転と関係が深いと考えられるが, 将来の問題として残されている.

なお, 人体皮膚の CR が測定時間中に変化しないかということであるが, これは電気工学的に第 27 図 a の如き回路として取扱得る. 即ち  $t=0$  で  $S_1$  を,  $t=t_1$  で  $S_2$  を閉じた場合を考えるとよい. 詳しい数式は省略するが,  $S_1$  を閉じた時の電流  $i_1$  は

$$i_1 = \frac{E}{R_0} \epsilon^{-\alpha_0 t}$$

$$R_0 = R + R_1$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{CR_0}$$

$S_2$  を閉じた時の電流  $i_2$  は

$$i_2 = E \epsilon^{-\alpha_0 t} \left[ \frac{1}{R} \epsilon^{-(\alpha - \alpha_0)(t - t_1)} - \frac{1}{R_0} \right]$$

故に  $t=t_1$  後における電流  $i$  は

$$i = i_1 + i_2 = E \epsilon^{-\alpha_0 t} \left[ \frac{1}{R} \epsilon^{-(\alpha - \alpha_0)(t - t_1)} \right]$$

となり  $t=t_1$  までの電流は  $i_1 = \frac{E}{R_0} \epsilon^{-\alpha_0 t}$  であるから,

これを図示すると第 27 図 b の如くなる. このことは C, R の変化によつて, 電流は不連続であることを示し, C, R の増加, 減少のいずれの場合にも適用できる.

皮膚の測定でこのような電流は見出されないから, 測定時間内の CR の変化は考慮しなくてもよいわけである.

### III 高電圧及び皮膚性状の変化に対応する皮膚の電気的性質

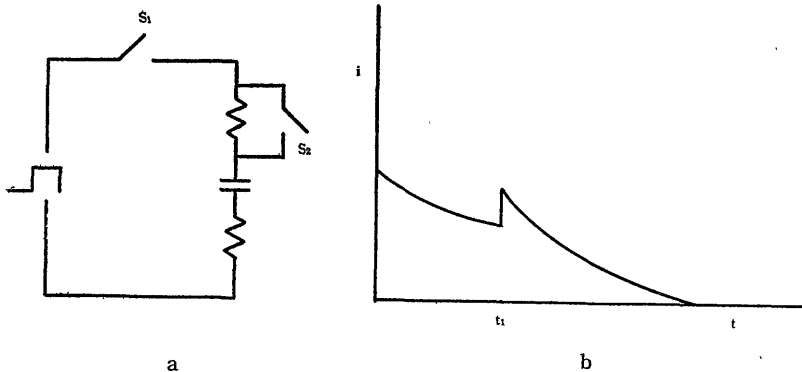
交流実験の成績から, 人体皮膚の分極性はその周波数との関係から界面分極, 配向分極に由来するものであろうと考えられ. 更に電気工学的には, 容量は常に抵抗と直列の形で存在し, これらの CR 直列回路が n 個合成して皮膚の電気的性質を特徴づけている. また, 脈波の解析からは, 交流の結果と同じく統一的に解析されるが, 電場の方向によつて電気的諸量に差があることがわかつた.

次にこれらの電気的諸量が, パラメーターや皮膚性状の変化と, どのような関連性をもつかについて検討した.

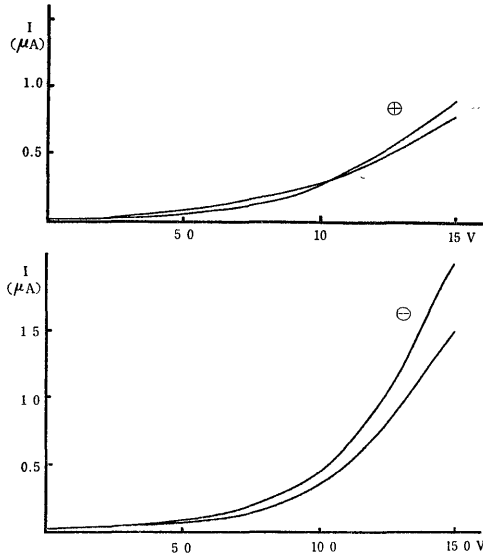
#### 1. 高電圧と皮膚の電気的性質

皮膚に直流電圧を負荷し, 電圧を色々かえて電流値がどのように変化するかを検討した. 第 28 図 (第 5 表) は横軸に電圧を, 縦軸に電流値をとり, 各電圧に対しての電流値をプロットしたものである. 電流がオームの法則に従うとすれば, 電圧と電流は直線の関係を示すべきであるが, 図のように電圧が増すと電流は急激に増加し, 直線からのずれが大きくなる. この場合, 高い電圧による皮膚性状の変化を考慮せねばならない. そのために, 同一部位について, 先ず 1.0→15.0 V, ついで 15→1.0V と連続測定を行なつた (第 29 図) (今後このような連続測定をヒステリシス曲線と呼び, 低→高電圧の測定を往, 高→低電圧方向の測定を復と

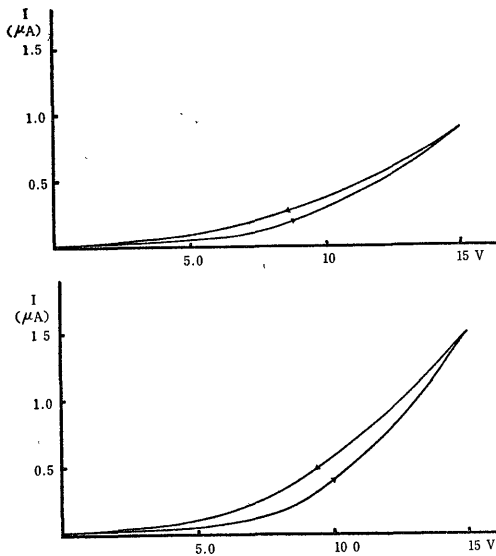
第 27 図



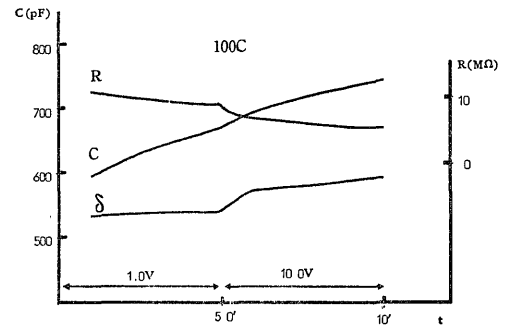
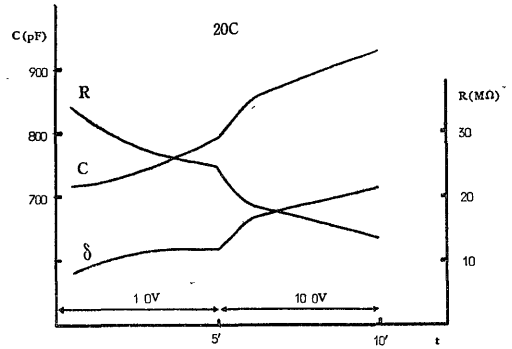
第 28 図



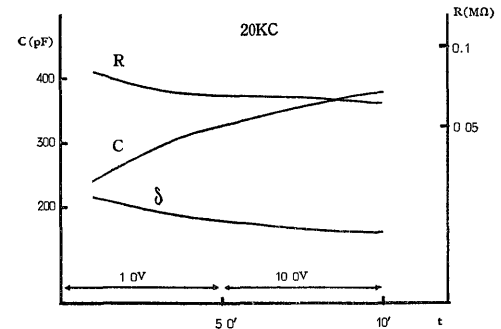
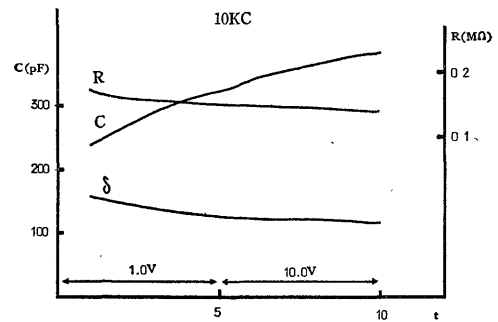
第 29 図



第30図 a



第30図 b



記載する). 図からも明らかであるが, 8.0V を中心に両者に著明な差が認められるが, 低い電圧では両者の差が小さく, 直線性も比較的良好に保たれる。

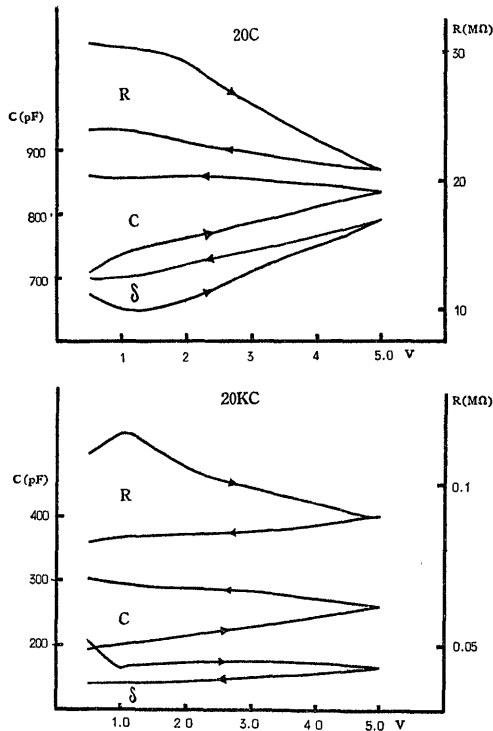
なお, この実験に際しては, 表面電流を除くために保護電極を使用し, また直流印加による皮膚性状の変化をさけるため, 電流値はすべてブラウン管面上で測定した。従つて直流電流値の読みは電圧印加後 0.5~1.0秒である。

第30図 a, b (第 6 表) 正弦波交流で  $f$  の低い域 (a) と高い域 (b) を選び, 最初に 1.0V を負荷して各分

毎に  $C$ ,  $R$ ,  $\tan \delta$  を測定し、5分目に急激に電圧を 10V とし、5分間同様に測定した例である。 $C$  は通電による変化が著明で、時間と共に増大の傾向を示すが、低い  $f$  域では電圧の変化による差が認められる。 $R$  は共通して時間と共に低下するが、 $C$  と同じく  $f$  の低い域で電圧の変化に対応して著しく小さくなる。 $\tan \delta$  は電圧変化に対しては、 $C$ ,  $R$  の変化と平行してかわるが、全体的に低い周波数域では水平の、高い周波数域では下向きの傾向を示す。

第31図 (第7表) は高低2つの周波数 20c, 20kc について、同一点の所謂ヒステリシスを調べたものである (電圧 1.0~5.0V)。 $C$  は電圧増大と共に急増す

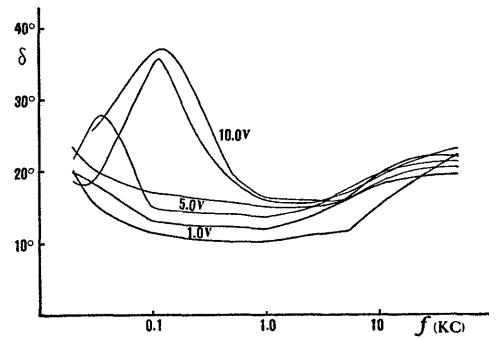
第 31 図



が、20c における変化が著明である。しかし復における回復性は認められない。 $R$  は  $C$  とほぼ同じ傾向を示す。 $\tan \delta$  は 20c で電圧増加と共に急激に大きくなり、復では同じ経過で減少する。20kc では共に直線的に推移する。

第32図 (第8表) は同一部位で  $f$  を連続的にかえ、 $\log f$  に対する  $\tan \delta$  の値をプロットしたものである。低い周波数域で電圧 (1.0, 5.0, 10V) による差が著しく特に、10V 負荷の測定値は 20~500c 域で極大値を示すが、 $f$  増大と共に、電圧による差は少なく

第 32 図



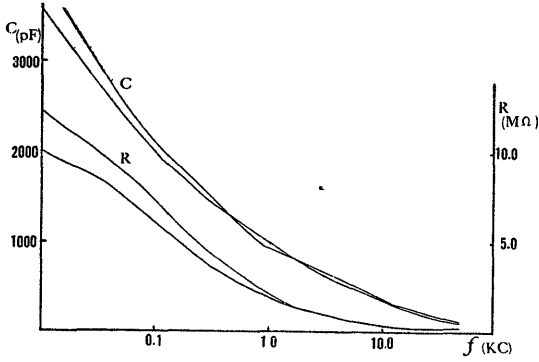
なる。次に脈波電圧 1.0~15.0V を負荷し、同一部位で連続的に測定した例であるが (第9表)、 $C$  は時定数の大きい  $\gamma$  系で著しく大きくなり、 $R$  は全般に低下するが、 $C$  と同様時定数の大きい系で著明であり、1V 負荷時における変化が著しく、極性もまた著明である。

以上の結果から共通して、抵抗の減少、容量 (交流、脈波) の増加、特に交流では  $f$  の低い域で、脈波では時定数の大きい  $\gamma$  で著しい。このような電流値の増加は、伝導や分極形成に関与する荷電体の量的増加、あるいはその易動度の増した結果によるものと考えられる。しかし、高電圧負荷のため皮膚性状が変化し、荷電体の易動度が増加する可能性は、ヒステリシスの実験や、形態学的検索から先ず否定してよい。従つて高圧によるこれらの変化は、ある負荷電圧以上で電導あるいは分極形成に関与する荷電体があるということの意味する。また交流では  $f$  の低い域で、脈波では時定数の大きい系で変化することから、直線的にかなりの高分子による荷電体 (その周囲のイオン分布を含めて) が想定される。(脈波における極性が著しくなることはこれに関連すると考えられる)。皮膚においてこれに相当するものは、先ず蛋白質である。皮膚の易溶性蛋白質はアルブミン、グロブリン ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  等で、これらはゾルまたはゲルの形で存在する。これらは pH や皮膚に豊富に存在する無機イオンによつて開や易動度が変わり、皮膚の電氣的性質に大きく影響 (部位差、個体差の一因ともなり得る) すると考えられる。皮膚の化学的性状と電氣的性質の関連性については、後に少数例について述べるが、他の実験結果をも総合して、次に報告する予定である。

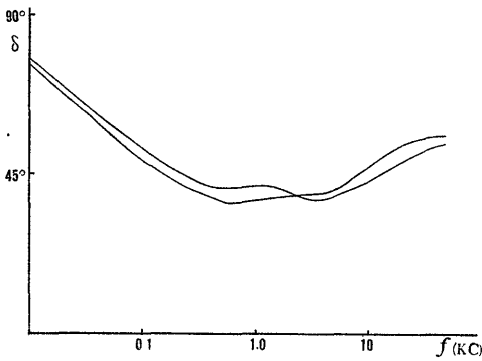
## 2. 形態学的変化と皮膚の電氣的性質

切除された皮膚について表皮及び真皮の熱収差の違いを利用し、表皮と真皮を剝離し (Baumberger<sup>21)</sup>) その各々の電氣的性質を検討した。その場合、組織学

第33図 a



第33図 b

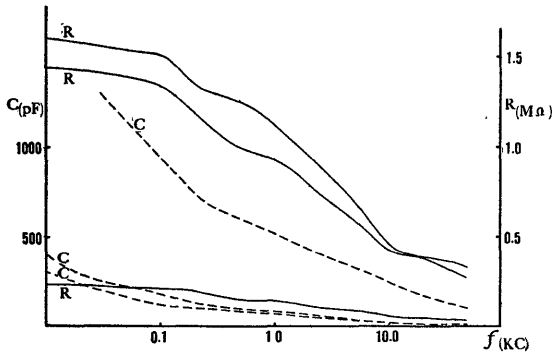


的には基底膜を境とし、表皮細胞層と真皮層に分離される。

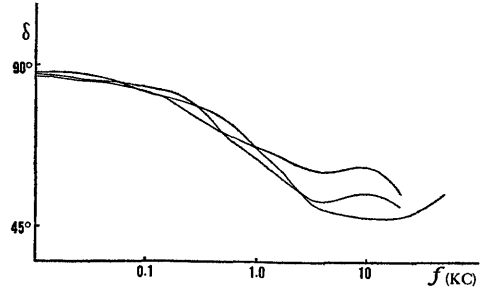
第33図 (第10表) はほぼ 50° の熱を角層側から加えて、表皮細胞層の真皮層を分離した後、剥離しないままで測定したものである。C, R 及び  $\tan \delta$  共にその絶対値は、正常に比して差異を示すが  $\log f$  に対する傾向は変らない。

第34図 (第11表) は剥離した表皮細胞層について測定した例である。C (点線), R (実線) 共にその絶対値

第34図 a



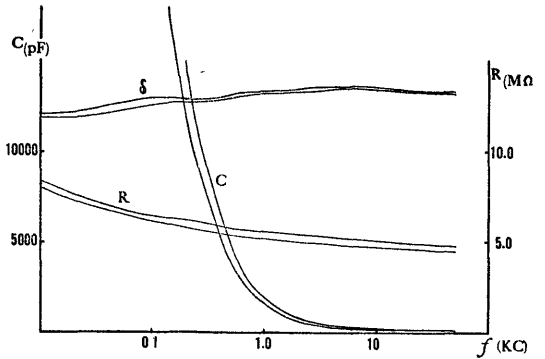
第34図 b



は測定部位によつてかわり、 $\log f$  に対する軌跡も不定である。しかし C, R の相関を示す  $\tan \delta$  は絶対値も、あるいは  $\log f$  に対しても一定の傾向を示す。即ち、 $f \rightarrow 0$  で 90° に収斂し、100c までゆるやかに減少し (83° 前後) 5kc まで円弧的にやや急激に減少する (50° ~ 60°)。更に  $f$  が増加すると一定値のまま推移するものと、10kc 附近で極大値をとるものにわかれる。

一方、真皮層の電氣的性質はほぼ一様で部位差は認められない。〔第35図〕 (第12表) C は  $\log f$  に対し

第 35 図



て  $f$  増大と共に指数函数的に減少し、その絶対値は 10c で 0.3~0.4  $\mu F$ , 50kc で 40 pF である。一方  $R$  は  $f$  増大と共に単調に推移し、10c で 8.0KΩ, 50kc で 5.0kΩ である。 $\tan \delta$  は周波数依存性が少なく、わずかに  $f$  増大と共にゆるやかに上昇する程度で、10cps で 80° 前後、5kc で 87°, 更に  $f$  が大きくなるとゆるやかに減少し、50kc で 86° 前後の値をとる。

表皮細胞層では、各測定例で C, R は一様でないが、容量成分と抵抗成分の比である  $\tan \delta$  が、そのようなバラつきに関係なくほぼ 1kc まで、絶対値、 $\log f$  に対する傾向とも一定であることは興味ある事実である。即ち、分極形成も、伝導もある一定の関係を保つて変化するわけで、同じ荷電体の一部は分極

形成に、他の一部は伝導に参与するものと考えられる。

真皮層の電気的性質は安定で測定例での差異は認められない。

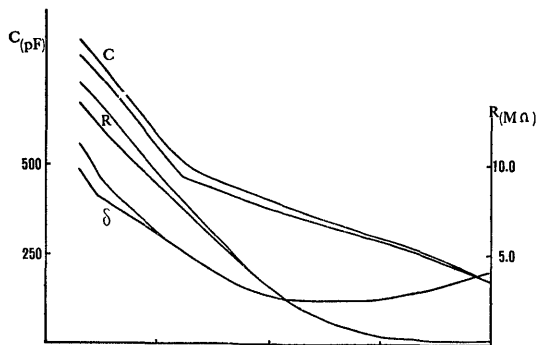
これら表皮細胞層、真皮層各々の電気的性質、 $C$ 、 $R$ 、 $\tan \delta$  の絶対値、あるいは  $\log f$  に対する傾向から、いずれもそのまま皮膚の電気的性質を単独で代表するとは考え難い。実験的に2つの層に分類しても、剥離しない状態で測定した場合は、ほとんど正常皮膚とかわらないことから、むしろ皮膚の電気的性質で主役を演ずるのは、この2つの境界面であろうと推定される。物理学的には、誘電率、伝導率の異なる二層の接触面に生ずる界面分極に相当するものである。

### 3. 化学物質作用と皮膚の電気的性質

病理解剖、あるいは乳腺切除術における切除皮膚について、等張緩衝液 (Michailis) (pH 2.62, pH 9.16) あるいは Adrenalin, Acetylcholin を作用させて後、皮膚の電気的性質を検討した。この場合、中枢からの影響、脈管あるいは汗腺による影響は無視し得るという利点があるが、切除後の時間により電気的性質に差が生ずることは止むを得ない。

死後4~6時間1~4°Cに保存した皮膚について、同一部位で各周波数連続測定(低周波から高周波、更に高周波から低周波)すると、第36図(第13表)のよ

第 36 図

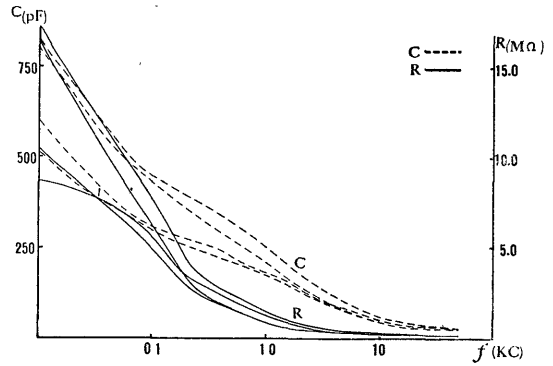


うに各周波数での測定値の変動が誤差範囲に止まる。そのために実験には主として、4時間以上1~4°Cに保存した皮膚を用いた。その組織像は、真皮以上の各層を含み厚さは2.0mmである。その他の測定条件は生体におけると同様である。

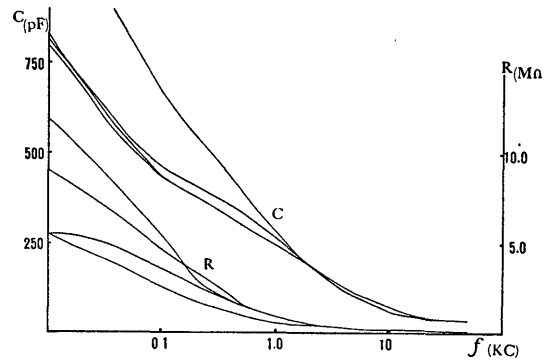
1) 等張ミハイリス緩衝液、pH 2.62, pH 9.16 を作用させた場合

等張緩衝液 pH 2.62, pH 9.16 の各液 5ml を約 50g の皮膚の真皮側から浸漬し(温度 1~4°C) 3時

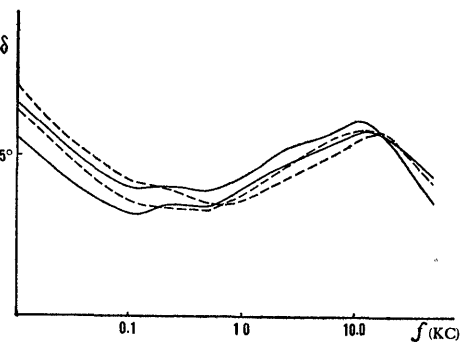
第37図 a



第37図 b



第37図 c



間、10時間作用させた後、各々の電気的性質を測定した。

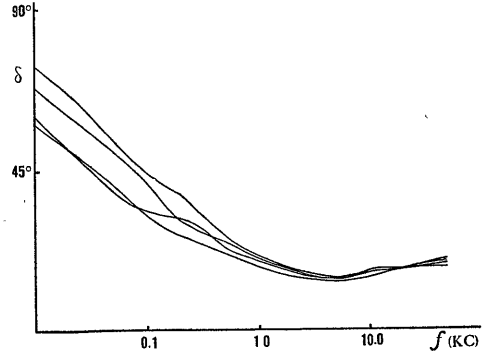
第37図 a, b, c (第14表) は pH 2.62 (a), pH 9.16 (b) を3時間作用させた例である。Cは $f$ の全域にわたって pH 9.16 を作用させたものが大きく、特に $f$ の低い域での差が著明である。絶対値で見ると、10~30cで200pF、100~200cで100pF、500c~2kcで50pF、5kc以上では25~10pF程度の差である。

Rは $f$ の低い域でCとは逆に pH 2.62 を作用させた方が大きい、50kc以上ではその差は非常に小さ

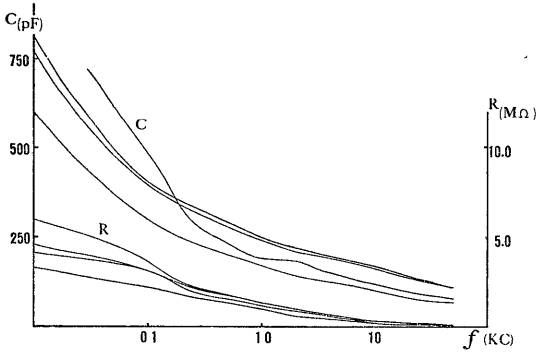
くなる。  $\tan \delta$  [第37図c] (点線が pH 9.16 作用のもの) は両者の間に著しい差異はなく、  $f$  増加と共に減少し 200~500c で極小値 (35°) をとり、 1kc 以後ゆるやかに大きくなり 10kc で極大値 (50°) をとり、更に  $f$  増大すると共に減少する。

第38図 a, b, c, d (第15表) は各液を10時間作用させた例である。 Cは  $f$  全域で pH 9.16 作用の皮膚 (図b) が大きい、その絶対値の差は 10~100c で 50pF, 200c~50kc で約 90pF である。 Rは 10c~5kc

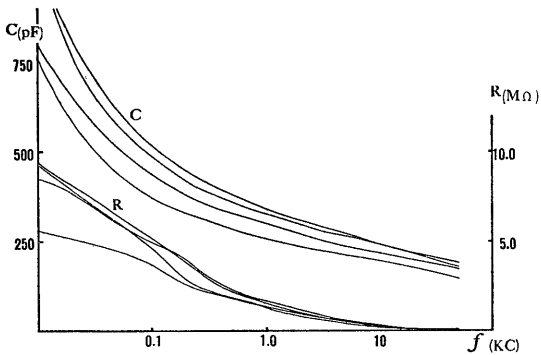
第38図 d



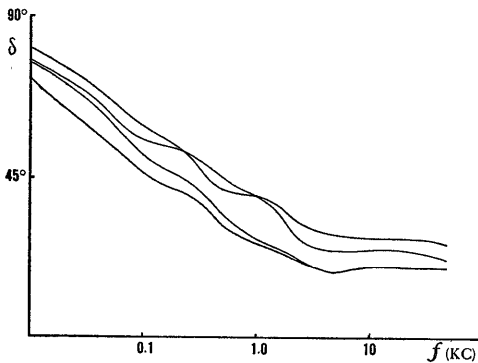
第38図 a



第38図 b



第38図 c



域では、 pH 9.16 作用皮膚が大きく (低い周波数ほど著明) 10kc 以上では逆に pH 2.62 作用皮膚 (図 a) が大きくなる。従つて  $\log f$  に対する  $\tan \delta$  は大きくかわり、 pH 2.62 作用皮膚 (図 c) では各例とも多少の凹凸があるが直線的に減少し、 5~50kc の間はほぼ直線を示す。絶対値は 10c で 75°, 100~500c 域で 45° 以下となり、 5kc 以上では 25° 前後の値となる。 pH 9.16 作用皮膚 (図 d) では 10c~2kc 域では、  $f$  増加と共にゆるやかに減少し、 5kc 付近で極小となり、更に  $f$  が増すと直線的に増加する。その絶対値は 10c で 65°, 30~100c 域で 45° 以下となり、 5kc 付近の極小値は 15°, 50kc で 20° 前後となる。

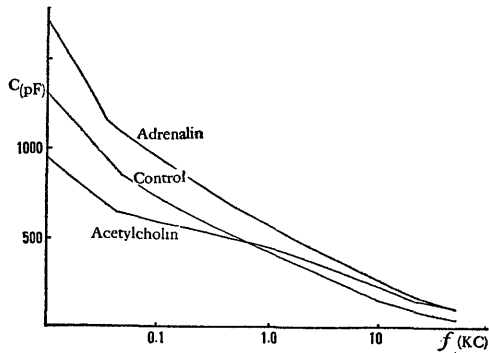
2) 自律神経系作用物質を作用させた場合

測定には、乳腺切除術に際して切除された皮膚の皮下脂肪織を除去して 1~4°C で 2 時間保存した皮膚を用いた。 0.5mg の Acetylcholin あるいは同量の Adrenalin 含有の 0.85% NaCl 5ml それぞれに、重量約 50g の皮膚を真皮側から 3 時間浸漬 (温度 1~4°C) したものについて測定を行なつた。コントロールとしては、同じ条件で 0.85% NaCl 5ml に浸漬した皮膚を用いた。その他の測定条件は等張緩衝液作用についての場合と同様である。

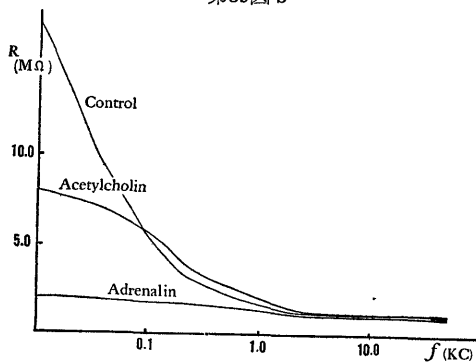
〔例 I〕 第39図 a, b, c (第16表) 参照。 C (図 a) については Adrenalin を作用させた皮膚は対照に対して  $f$  全域で増大が見られ、特に低い周波数域 10~200c で著明である。 Acetylcholin を作用させた皮膚は、  $f$  の低い域 (100~200c, 200c~1kc) ではコントロールに比して著しく小さい値を示すが、  $f$  増大と共にその差は小さくなり、 500c~1kc 域でコントロールと交叉し、更に  $f$  が増大すると Adrenalin の作用した皮膚の値に近づく。 R (図 b) は Adrenalin 作用の皮膚では、  $f \rightarrow 0$  で一定値に近づき  $f$  増加と共にゆるやかに減少し、 10kc 以上ではほぼ一定値となる。



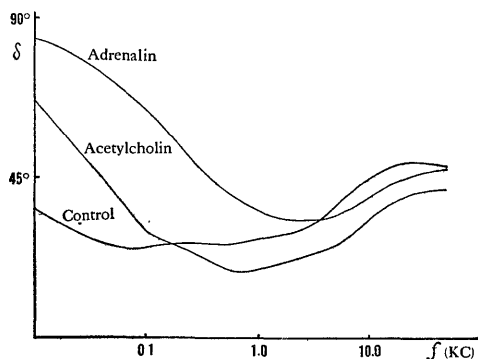
第39図 a



第39図 b



第39図 c



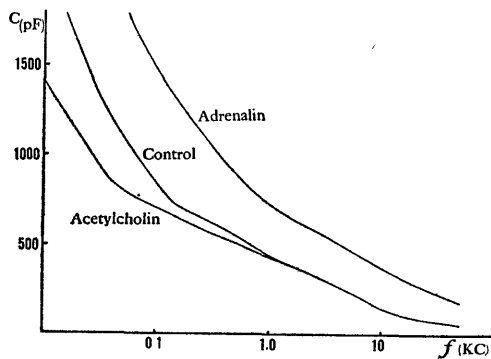
Acetylcholin 作用の皮膚では、 $\log f$  に対してはほぼ同様の傾向を示すが、絶対値は 10~30c でコントロールより小さく、100c~10kc でコントロールより大きくなり 20kc 以上で再び小さく Adrenalin 作用の皮膚の  $R$  と等しくなる。従つて、 $\tan \delta$  は図 c に示す如く 3 者の間に大きな相違が認められる。コントロールは生体皮膚に近い傾向を示すが、Adrenalin 作用の皮膚では、10c で 83°,  $f$  増大と共に減少し 400c で 45°, 3kc で 33° の極小値をとり、更に  $f$  が増大するとゆるやかに増加し、50kc では 47° である。これ

に対して Acetylcholin 作用の皮膚は、10c で 67°,  $f$  増大と共に減少し 30c で 45° でその後多少の凹凸を示すが 1kc で 20° の極小値を示し、更に  $f$  が増大すると共に大きくなり、50kc では 40° 前後の値を示す。

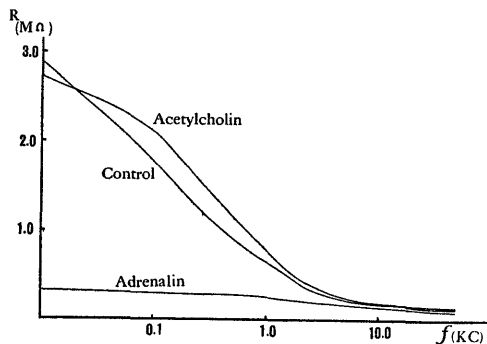
〔例Ⅱ〕 第40図 a, b, c (第17表) 参照。C (図 a),  $R$  (図 b),  $\tan \delta$  (図 c) とともに絶対値において多少の相異があるが、 $\log f$  に対する傾向は、図40からも明らかのように、例Ⅰにおけると同様である。

〔例Ⅲ〕 第41図 a, b, c (第18表) 参照。前2例と同様の条件で測定した例であるが、C (図 a) につい

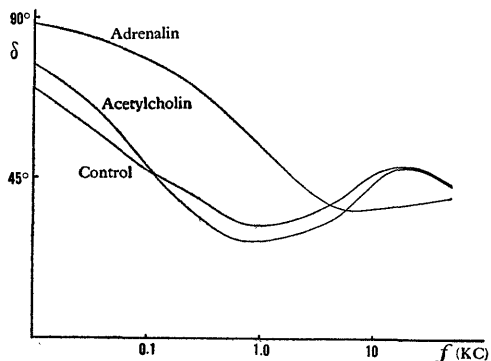
第40図 a



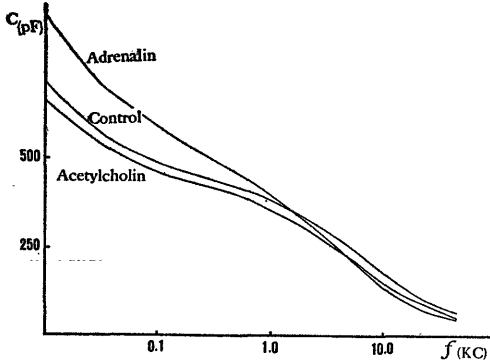
第40図 b



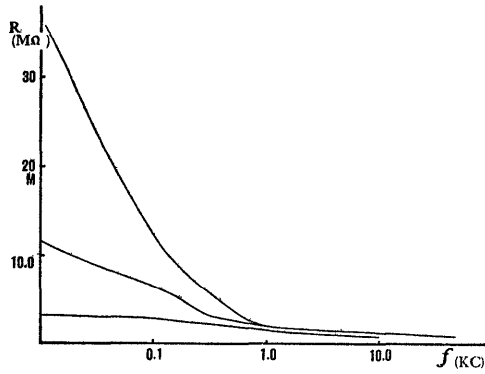
第40図 c



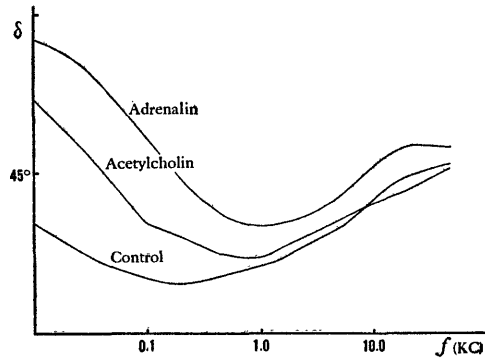
第41図 a



第41図 b



第41図 c



ては Adrenalin 作用皮膚は前 2 例と同じく  $f$  の低い域では著明に増すが、 $f$  増大と共にコントロールに近づき、2kc 以下では、その絶対値はコントロールや、Acetylcholin 作用の皮膚よりも小さくなる。Acetylcholin 作用の皮膚では、コントロールとはほぼ同じ傾向を示し、 $f$  全域にわたって約 50pF 小さい。R は Acetylcholin, Adrenalin 作用の皮膚とも、 $f$  の低い域でコントロールよりも小さいが、 $f$  の高い域で大き

くなる。  $\log f$  に対する軌跡は、前 2 例と相似である。  $\tan \delta$  は図からも明らかなように前 2 例と同じような傾向を示す。

以上種々の化学物質の作用によつて、皮膚の電氣的性質は著しい変化を示すが、これは C, R 及び  $\tan \delta$  の  $\log f$  に対する軌跡から見て、基本的な回路の組合せには変化はなく、その構成要素 C, R の量的変化であることは容易に推定される。

先ず緩衝液を用いて皮膚の性状をかえた場合についてであるが、pH 9.16 液を 3 時間作用させた皮膚は、pH 2.62 作用のものに比して C は大きく R は小さい。しかもその相違は  $f$  の低い域で著しい。10 時間作用させた皮膚では、むしろ  $f$  の高い域での相違が著しく、それが  $f$  全域に影響し、低い周波数域での差異を不明確にしている。C は 50kc 以上で両者の差が著明でそれを差引くと、200c~50kc 域では差異はほとんどなく、10~30c では逆に pH 2.62 液作用の皮膚の方が大きい。R も 3 時間作用させたものとは逆に pH 9.16 液作用の皮膚が大である。即ち、作用時間によつて電氣的性質の変化の傾向に差があり、3 時間作用させた皮膚では CR 直列回路の時定数の大きい ( $f$  の低い域) 系の相違が著しく、10 時間作用させた皮膚では、時定数の大きい系 (10~100c) と非常に小さい系 (50kc 以上) で相違が著明であるが、その中間の系では相違は全く認められない。また、3 時間作用させた皮膚では、 $\tan \delta$  の軌跡が示す如く、分極と伝導は一定の関係をもつて変化し、作用液の違いによる差は認めたいが、10 時間作用させた皮膚ではこの分極と伝導のバランスは大きく乱れてくる。

Adrenalin, Acetylcholin の作用によつても皮膚の電氣的性質は著しくかわる。同一部位での  $f$  の全域にわたる連続測定のため、多少の誤差を考慮せねばならないが、Adrenalin 作用の皮膚では、C の  $\log f$  に対する変化の度合から、20~200c (I 相) 500c~2kc と (II 相) で分極性、伝導性の増加が著しい。これに対して Acetylcholin 作用の皮膚では、I, II 相で分極性、伝導性の低下が著しい。しかし III 相以上 (2kc 以上) では両者に相異は認められない。従つて  $\tan \delta$  の  $\log f$  に対する軌跡は、 $f$  の低い域で著しく異なる。すでに述べた如く、このような  $\tan \delta$  の変化は、分極性と伝導性のバランスのくずれたことを意味し、これら Adrenalin, Acetylcholin 等は皮膚のある特定の CR 直列回路系に作用し、C, R を特異的に変化させると考えてよい。

同じような条件で、別に脈波による解析も検討中でその概略を記すと、第19表の如くで、時定数の大きい

$\gamma'$ ,  $\beta'$  系での相違が著しく、特に Acetylcholin 作用皮膚で、 $\oplus$ 方向通電に際して  $\beta'$  系が現われないことが多い。

これらは実験的に、切除皮膚の個体差、部位差、切除後の処置法あるいは作用液の濃度、作用方法、作用時間についてなお検討を要するものと思われる。

以上のように、皮膚の電気的性質は、パラメーターや化学的性状の変化に対応して特徴的な変化を示す。従って定性的には、正常皮膚における分極性や等価回路を基準として、皮膚の性質（部位差、個体差を含めて）を電気的性質で表わすことができるわけであり、また同時に、その物性的解析の可能であることを示唆する。このような立場で、皮膚の分極性、極性の存在の場合あるいはその化学的性質との関連性について、あるいはこれらの等価回路的な解析についての問題は別に報告する予定である。

## 結 語

1. 成人人体皮膚の分極は周波数によつて異なる約4個以上の分極の合成したものであることを認めた。これらは、簡単に物理学的な理想分極と対応できないがその測定周波数範囲から、界面及び配向分極に由来するものと考えられる。

2. 更に電気工学的解析から、容量は常に抵抗と直列の形で存在し、これら容量、抵抗の直列系を幾つかの合成した等価回路によつて、皮膚の電気的性質を統一的に説明することができた。

3. 近似的ではあるが、脈波負加による過渡現象の測定からも、交流と同様に容量、抵抗の直列系の幾つかの合成として解析できた。また、電場の方向によつて著明な極性があることがわかつた。なお、過渡現象の解析については、数式的にも電気工学的にも成り立つことを実証し得た。

以上の実験データを基礎として、皮膚性状と電気的性質の関連性を検討するため実験を行ない次の結果を得た。

4. 皮膚に直流、正弦波交流及び脈波の色々な電圧を負荷し、直流抵抗はある電圧以上で急激に減少し、オームの法則に従わなくなり、正弦波交流及び脈波では低い  $f$  域（時定数の大きい CR 直列回路）で容量は増大、抵抗は減少することを認めた。また直流、脈波の電場の方向による極性は、電圧の高い部で著明になることを認めた。

5. 熱収差を利用して、表皮細胞層と真皮層を分離し、各々についての実験成績から皮膚の電気的性質は、この2つの層の境界に関係があると推定される結

果を得た。

6. 皮膚に化学物質を作用させると、その電気的性質は、特異な変化を示した。等張緩衝液で pH 9.16, pH 2.62 を作用させると、3時間作用のものでは、C, R 共にかわるが、 $\tan \delta$  には差が認められず、10時間作用のものでは、 $\tan \delta$  に著明な相違を認めた。また Adrenalin や Acetylcholin を作用させると、分極性、伝導性の変化が全く相反するという興味ある結果を得たが、測定上の条件からなお検討を要するものとする。

本稿を終るにあたり、終始御指導、御鞭撻を賜つた恩師石川大刀雄教授に深謝すると共に、本研究の協力者である「生物々理のグループ」に感謝の意を表します。なお種々の御援助並びに御助言を戴いた国立病院長門馬博士、三浦博士を始めとする東芝医用電子開発課の諸氏並びに松村先生に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 坂東平一： 十全医会誌, 70, 1 (1964).
- 2) Wada, M. & Takagi, T.: Tohoku J. Exp. Med., 49, 284 (1948).
- 3) 沢口悦郎： 科学, 30, 10, 537 (1960).
- 4) Kohlrausch, F.: Pogg. Ann. d. Phys., 148, 143 (1873).
- 5) Weber, H. F.: Wied. Ann. Phys., 7, 467 (1879).
- 6) Krüger, F.: Zeitschr. f. Phys. Chem., 45, 1 (1903).
- 7) Stern, O.: Z. Electrochem., 30, 508 (1924).
- 8) Jonsen, O. G. & Gortner, R. A.: J. Phys. Chem., 36, (1932).
- 9) Lullies, H.: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol., 221, 296 (1928).
- 10) Hozawa, S.: Zeitschr. f. Biol. 92, 209 (1932).
- 11) Gildemeister, M.: Bethe's Handbuch d. norm. pathol. physiol., 8/2 springer Berlin (19-28).
- 12) (1) Hozawa, S.: Zeitschr. f. Biol. 91, 297 (1931).
- (2) 朴沢 進： 生理学講座, 生体の電気現象 (II), 1 (1952).
- 13) McClendon, J. F. & Hemingway, A.: Am. J. physiol., 94, 77 (1930).
- 14) Cole, K. S.: J. gen. physiol., 15, 641 (1932).
- 15) Einthoven, W. und Bijtel, J.: Pflüger's Archiv., 198, 439 (1923).
- 16) Hozawa, S.: Pflüger's Archiv., 219, 111 (1928).
- 17) Hashida, K.: Jap. J. med. Sci., III Biophysics, 4, 118 (1935).
- 18) Wakabayashi, T.: Jap. J. med. Sci., III Biophysics, 6, 77 (1939).
- 19) Homma, S.: Jap. Jap. J. Physiol., 3, 231 (1953).
- 20) 中西孝雄： 日本生理誌, 21, 1279 (1959).
- 21) Baumberger, J. P., Sultzoff, V. & Cowdry, E. V.: J. Nat. Cancer Inst., 2, 413 (1942).

## Abstract

A study of the electric polarization and electrical properties of the human skin yielded the following analysis of the skin deemed possible.

(1) It became evident through the experiment applying the alternating current that the polarization of the human skin in a physical sense comprised several interfaces or orientation polarizations, while electrically it consisted of parallel couplings of several C R series circuits.

(2) An analytical application of the rectangular voltage to the skin further confirmed the above-stated notion, and in this experiment the polarity of the human skin revealed a marked dependability on the direction of the electrical field of the applying voltage. The author hereby demonstrated the mathematical and experimental means of analysis pertaining to the rectangular current applying through the human skin.

(3) The electrical properties of the human skin varied in accordance with the applying load of the voltage, the polarity increase being specifically distinct in the load of high rectangular voltage.

(4) Marked electrical differences were observed between artificially dissected epidermal specimens and dermal ones and the interface between these two layers seemed to be a decisive factor pertaining to the electrical properties of the whole skin.

(5) The effects of neurotropic chemical agents—adrenalin and acetylcholin—and pH change on the removed human skin specimen were observed electrically and the results were discussed.

---

第 1 表 (単位はすべて容量は pF, 抵抗は M $\Omega$ )

No.	20 cps			30 cps			100 cps		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	19.0	697	31°00'	31.0	460	20°30'	13.1	455	14°57'
2	33.0	661	20°00'	33.0	386	22°40'	12.1	449	16°33'
3	34.0	651	19°48'	28.0	505	20°47'	12.5	509	14°00'
4	23.0	798	23°25'	30.0	484	19°15'	12.4	487	14°46'
5	32.0	674	20°15'	27.0	564	23°30'	11.4	599	13°10'
6	30.0	656	22°00'	26.0	470	20°07'	12.4	483	14°55'
7	30.67	687	20°40'	28.04	497	21°00'	12.16	505	14°54'
8	23.0	660	27°40'	18.9	546	27°18'	9.9	495	18°00'
9	34.0	571	22°20'	23.6	465.6	25°50'	10.9	498	16°20'
10	21.9	616	30°30'	25.6	396	27°40'	10.6	518	16°10'
No.	200 cps			500 cps			1 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	8.0	370	15°03'	4.09	260	16°40'	1.95	352	13°03'
2	5.7	550	14°15'	3.69	380	12°47'	1.81	358	13°50'
3	7.1	430	14°38'	3.2	426	13°10'	1.68	308	17°05'
4	7.1	397	15°45'	3.7	330	14°36'	1.52	372	15°42'
5	8.6	418	12°30'	3.5	340	15°00'	1.82	298	16°20'
6	6.9	460	14°04'	3.8	296	15°50'	1.95	290	15°45'
7	6.26	430	16°28'	3.57	354	14°07'	1.84	321	15°05'
8	5.66	572	13°50'	3.05	385	15°10'	1.8	278	17°40'
9	6.56	410	16°30'	2.89	395	15°35'	1.97	276	16°26'
10	7.1	450	14°00'	3.27	362	15°04'	1.81	306	16°00'
No.	2 kc			5 kc			10 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	1.17	210	18°00'	0.55	180	17°50'	0.233	192	19°35'
2	0.98	355	12°53'	0.434	230	17°40'	0.27	160	20°15'
3	0.867	330	15°32'	0.392	250	18°00'	0.184	236	20°10'
4	1.037	242	17°38'	0.422	240	17°30'	0.237	200	18°30'
5	1.0	227	19°20'	0.385	270	17°00'	0.204	220	19°30'
6	1.157	227	16°55'	0.42	280	15°10'	0.251	200	17°35'
7	0.84	350	15°10'	0.392	245	18°19'	0.222	210	19°00'
8	0.9	272	18°00'	0.381	280	16°37'	0.211	205	20°15'
9	1.05	237	17°45'	0.471	215	17°28'	0.255	176	19°30'
10	1.0	210	20°43'	0.441	195	20°19'	0.199	222	19°50'
No.	20 kc			50 kc			100 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	0.131	181	18°40'	0.099	100	17°50'	0.036	118	20°35'
2	0.131	181	18°40'	0.07	133	18°55'	0.032	133	20°30'
3	0.147	150	19°50'	0.064	137	20°00'	0.038	128	18°10'
4	0.116	208	18°15'	0.067	130	20°00'	0.058	100	15°20'
5	0.137	170	18°50'	0.065	135	20°00'	0.031	145	19°30'
6	0.132	178	18°40'	0.066	133.7	19°10'	0.048	110	16°45'
7	0.118	188	19°45'				0.037	126.8	18°50'
8	0.11	195	20°18'				0.063	82.1	17°01'
9	0.127	160	21°19'				0.0472	89	20°45'
10	0.13	180	18°40'				0.0426	90.3	22°27'

第 2 表

No.	20 cps			30 cps			100 cps		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	2.77	1320	65°15'	7.9	878	37°30'	7.76	717	15°58'
2	9.24	1055	39°36'	17.65	708	23°05'	9.0	646	15°18'
3	0.96	1540	79°28'	14.4	976	20°43'	7.76	717	15°58'
4	2.7	1010	69°29'	13.25	586	21°19'	6.53	694	19°21'
5	18.85	790	28°09'	27.9	635	16°45'	4.9	790	22°20'
6	17.7	810	29°05'	16.75	780	22°09'	8.57	622	16°39'
7	9.6	1050	38°08'	12.55	780	28°33'	6.95	574	21°45'
8	21.2	748	26°40'	20.45	708	20°12'	9.0	526	18°35'
9	16.15	857	29°54'	11.15	976	26°01'	6.53	550	23°52'
10	14.2	945	30°43'	25.1	658	17°51'	8.16	550	19°31'
No.	200 cps			500 cps			1 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	6.22	492	14°39'	2.68	422	16°20'	1.625	360	15°13'
2	4.55	512	18°55'	2.78	408	15°39'	1.663	393	13°55'
3	5.3	580	14°30'	1.67	582	18°10'	1.663	307	17°29'
4	3.41	608	20°58'	2.28	517	15°07'	1.663	346	15°45'
5	5.0	493	17°54'	2.7	356	18°19'	1.85	286	16°42'
6	6.47	489	14°06'	2.66	403	16°33'	1.17	416	18°05'
7	3.87	535	21°05'	2.66	427	15°42'	1.815	317	15°23'
8	4.17	597	17°48'	1.635	440	23°51'	1.36	377	17°14'
9	7.2	475	13°07'	2.4	403	18°11'	1.435	364	16°56'
10	5.3	553	15°10'	2.47	408	17°29'	1.585	424	13°18'
No.	2 kc			5 kc			10 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	0.623	350	20°08'	0.28	289	21°30'	0.174	275	18°22'
2	0.77	330	17°28'	0.44	171.5	22°53'	0.244	162.5	21°52'
3	0.88	253	19°42'	0.44	170	23°10'	0.313	150	18°44'
4	0.915	286	16°56'	0.52	159.3	21°06'	0.244	175	20°27'
5	0.88	291	17°15'	0.4	206	21°07'	0.244	187.5	19°09'
6	0.88	253	19°40'	0.48	176.5	20°37'	0.279	155	20°12'
7	0.842	304	17°17'	0.44	203	19°37'	0.313	165	17°07'
8	0.952	228	20°09'	0.4	201	21°35'	0.209	182.5	22°40'
9	0.806	278	19°33'	0.48	171.5	21°10'	0.244	180	19°55'
10	0.696	375	16°55'	0.32	223	24°05'	0.279	162.5	19°21'
No.	20 kc			50 kc					
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$			
1	0.101	171.5	24°43'	0.0453	159.5	23°48'			
2	0.132	142	23°02'	0.0725	114	21°07'			
3	0.228	98	19°36'	0.121	91.2	16°11'			
4	0.137	147	21°33'	0.0604	125.5	22°47'			
5	0.202	120	18°10'	0.0906	114	17°09'			
6	0.261	93.3	18°47'	0.151	91.2	13°01'			
7	0.195	127.5	17°45'	0.0664	143.5	18°30'			
8	0.1955	127.5	17°45'	0.127	95.7	14°40'			
9	0.1955	122.5	18°24'	0.0664	132	19°57'			
10	0.108	171.5	23°22'	0.0725	125.5	19°18'			

第 3 表

No.	20 cps			30 cps			100 cps		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	8.9	1220	36°25'	12.0	941	25°14'	7.7	720	16°03'
2	7.32	1423	37°20'	9.37	1022	29°05'	5.98	758	19°20'
3	8.0	1360	36°25'	15.8	811	22°32'	7.7	710	16°16'
4	5.0	1690	43°20'	7.8	1120	31°18'	4.4	880	22°24'
5	5.6	1500	46°43'	4.7	1310	40°48'	3.4	870	28°17'
6	8.8	1290	35°00'	6.9	1031	36°50'	5.1	700	24°03'
7	7.1	1280	41°12'	9.0	920	33°33'	7.6	670	17°23'
8	2.3	2300	56°25'	3.8	1400	45°00'	2.4	1040	32°31'
9	2.0	2380	59°05'	3.5	1500	45°17'	2.7	1000	30°35'
No.	200 c			500 c			2 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	6.6	579	11°46'	2.77	550	11°48'	0.793	373	15°03'
2	4.58	618	15°42'	2.47	539	13°27'	0.73	448	14°38'
3	7.2	525	11°55'	3.37	500	18°42'	0.876	495	10°24'
4	2.6	720	23°05'	1.77	605	16°32'	0.584	480	15°52'
5	3.7	590	20°05'	2.78	460	14°00'	0.69	460	14°05'
6	2.8	680	22°40'	1.66	580	18°20'	0.706	435	14°30'
7	1.6	870	29°50'	1.18	705	21°00'	0.542	530	15°30'
8	5.15	570	15°10'	2.21	545	14°50'	0.678	438	14°57'
9	5.5	564	15°46'	2.38	617	12°15'	0.703	413	15°20'
No.	5 kc			20 kc			50 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1	0.283	376	16°40'	0.075	230	24°40'	0.0335	170	29°10'
2	0.291	384	15°54'	0.077	268	21°54'	0.0302	227	27°15'
3	0.34	396	13°19'	0.075	283	20°30'	0.0324	230	23°10'
4	0.239	410	18°00'	0.075	297	19°40'	0.0285	270	22°30'
5	0.268	371	17°45'	0.082	220	23°47'	0.0294	195	29°00'
6	0.325	365	15°05'	0.078	310	18°15'	0.026	290	22°55'
7	0.248	460	15°37'	0.06	380	19°15'	0.027	270	23°55'
8	0.291	380	15°50'	0.078	265	21°50'	0.03	230	27°00'
9									

⊕

第 4 表

No.	$\alpha'$		$\beta'$		$r'$	
	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
1	0.0536	159.5	0.7	114	2.63	347
2	0.091	142.5	0.441	111	2.78	322
3	0.05	199	0.567	137.5	2.44	356
4	0.0528	215	0.641	123.8	1.665	538
5	0.073	130	0.7	120.0	3.81	253.5
6	0.0571	146.5	0.95	114.5	3.23	355
7	0.04675	223.0	0.642	128	2.44	356
8	0.0474	194	0.456	162	2.94	400
9	0.0605	140	0.472	179.5	2.72	362
10	0.0753	114	0.9	100	2.815	682

⊖

No.	$\alpha'$		$\beta'$		$r'$	
	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
1	0.0494	203.5	0.717	118.2	3.51	380
2	0.0414	243	0.3	238	3.39	295
3	0.042	242	0.233	230	2.35	203
4	0.0565	226	0.684	105.8	3.23	318
5	0.0578	179.5	0.628	134.7	2.94	335
6	0.0494	232	0.555	168.0	3.45	333
7	0.0369	246	0.567	167	5.0	386
8	0.0577	140	0.456	100	3.85	487
9	0.0456	264	0.257	224.5	2.44	303
10	0.0487	147	0.488	146.0	2.6	706

⊕

第5表 電流の単位は  $\mu A$

V \ I	①	②	③	④	⑤
1.0	0.01	0.01	0.075	0.35	0.025
2.0	0.025	0.02	0.15	0.7	0.051
4.0	0.065	0.06	0.3	1.4	0.13
8.0	0.023	0.7			0.3
10.0			1.4	4.0	
15.0	2.05	3.5	3.4	6.5	2.8

ヒステリシス

V \ I	①		②		③		④		⑤	
	往	復	往	復	往	復	往	復	往	復
1.0	0.005	0.01	0.3	0.4	0.05	0.08	0.02	0.046	0.3	0.4
2.0	0.15	0.02	0.6	0.75	0.1	0.15	0.05	0.09	0.55	0.7
4.0	0.04	0.675	1.2	1.45	0.25	0.4	0.125	0.195	1.1	1.4
8.0	0.16	0.18					0.35	1.01		
10.0			4.0	4.2	1.2	1.7			3.7	4.0
15.0	1.5		6.5		4.0		3.25		6.5	

⊖

V \ I	①	②	③	④	⑤
1.0	0.01	0.025	0.3	0.125	0.03
2.0	0.02	0.0525	0.65	0.275	0.06
4.0	0.05	0.165	1.3	0.6	0.155
8.0	0.2	0.325			1.15
10.0			5.0	2.0	
15.0	0.8	2.65	8.0	4.8	4.0

ヒステリシス

V \ I	①		②		③		④		⑤	
	往	復	往	復	往	復	往	復	往	復
1.0	0.01	0.01	0.04	0.04	0.45	0.475	0.03	0.0325	0.225	0.225
2.0	0.02	0.02	0.08	0.09	0.9	0.9	0.06	0.07	0.45	0.475
4.0	0.04	0.06	0.18	0.3	1.75	1.75	0.15	0.23	0.9	0.95
8.0	0.14	0.23					0.4	1.0		
10.0			0.0	1.8	4.8	5.2			2.8	2.9
15.0	0.9		3.5		7.5		4.75		5.0	



第 6 表 低い周波数域 (20~30 C)

t(分)v	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1.0 ↑	34.0	716.5	18°10'	40.4	561	19°20'	20.0	710	20°30'
2.0	30.5	725	21°35'	40.4	591	17°50'	18.0	750	21°30'
3.0 1.0V	27.0	746	21°40'	39.1	600	18°45'	17.0	780	21°55'
4.0 ↓	26.0	770	21°30'	37.1	623	19°00'	16.0	820	22°20'
5.0 ↑	25.0	793	21°50'	35.6	644	19°10'	15.0	830	23°10'
6.0	18.4	854	27°00'	27.4	695	22°40'	11.0	870	29°00'
7.0	17.2	873.5	28°00'	26.6	707	23°00'	10.1	870	31°60'
8.0 10.0V	16.1	893	29°00'	25.5	726	23°20'	9.9	890	31°60'
9.0 ↓	15.0	911	30°15'	24.4	743.5	23°40'	9.3	910	32°15'
10.0	14.1	930	31°30'	23.7	755	24°00'	8.9	935	32°30'

(100~500 C)

t(分)v	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1.0 ↑	11.0	597	13°35'	14.0	417	15°15'	3.3	235	22°20'
2.0	10.6	619	13°40'	13.5	440	15°00'	3.21	260	20°50'
3.0 1.0V	10.0	647	13°50'	13.4	464	14°20'	3.21	283	19°15'
4.0 ↓	9.8	655	13°55'	13.0	477.5	14°20'	3.25	300	18°20'
5.0 ↑	9.5	668	13°25'	12.8	493	14°10'	3.27	318	17°00'
6.0	7.2	697	17°35'	11.0	514	15°42'	2.03	340	17°30'
7.0	6.9	708.5	18°00'	10.8	525	15°40'	3.06	350	16°30'
8.0 10.0V	6.6	719.5	18°30'	10.6	535	15°40'	3.08	362	15°55'
9.0 ↓	6.2	735.5	19°15'	10.5	544	15°32'	3.09	372	15°28'
10.0	6.01	745.2	19°30'	10.3	553	15°35'	3.12	381	15°00'

高い周波数域 (1~5 kc)

t(分)v	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1.0 ↑	1.25	480	14°55'	0.314	348	16°13'	0.173	242	20°50'
2.0	1.27	518	13°35'	0.314	366	15°40'	0.162	272	19°50'
3.0 1.0V	1.28	542	12°56'	0.316	380	14°50'	0.157	292	19°10'
4.0 ↓	1.28	563	12°26'	0.319	400	14°00'	0.153	312	18°25'
5.0 ↑	1.27	581	12°10'	0.322	410	13°35'	0.152	323	18°00'
6.0	1.17	600	12°50'	0.315	422	13°30'	0.1476	340	17°35'
7.0	1.143	624	12°35'	0.3145	433	13°10'	0.1456	350	17°20'
8.0 10.0V	1.133	630	12°30'	0.3134	442	12°55'	0.144	363	16°58'
9.0 ↓	1.113	640	12°30'	0.3126	450	12°45'	0.1422	376	16°33'
10.0	1.094	650	12°35'	0.311	458	12°35'	0.1406	382	16°26'

(20~50 kc)

t(分)v	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
1.0 ↑	0.082	246	21°35'	0.085	105	19°40'	0.065	110	24°00'
2.0	0.078	270	20°40'	0.075	117	19°55'	0.06	118	24°18'
3.0 1.0V	0.076	292	19°45'	0.067	126	20°42'	0.0543	129	24°25'
4.0 ↓	0.0755	316	18°28'	0.0611	134	21°18'	0.0503	139	24°30'
5.0 ↑	0.075	327	18°00'	0.0562	142	21°42'	0.0482	145	24°30'
6.0	0.0743	340	17°30'	0.0553	153	21°20'	0.0457	151	24°42'
7.0	0.074	350	17°08'	0.05	162	21°25'	0.0438	160	24°25'
8.0 10.0V	0.0734	361	16°43'	0.0476	171	21°20'	0.042	169	24°15'
9.0 ↓	0.0729	370	16°30'	0.0446	179	21°40'	0.0407	175	24°05'
10.0	0.07256	378	16°10'	0.0436	185	21°32'	0.0395	182	23°56'

第 7 表

V	20 C			20 kc		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
0.5	30.8	712	20°00'	0.11	195	20°21'
1.0	30.8	740	19°15'	0.117	200	18°46'
2.0	29.05	767	19°40'	0.106	217	19°06'
3.0	25.9	791.5	21°20'	0.1	230	19°06'
4.0	23.35	817.5	22°40'	0.094	246	19°00'
5.0	21.1	838	24°20'	0.09	260	18°48'
4.0	21.5	850	23°30'	0.0875	273	18°26'
3.0	22.4	854	22°40'	0.0855	285	18°06'
2.0	23.1	862	21°50'	0.0842	293	17°52'
1.0	24.0	864	21°00'	0.083	300	17°42'
0.5	24.0	864	21°00'	0.082	305	17°40'

第 8 表

f	I			II		
	1.0 V	5.0 V	10.0 V	1.0 V	5.0 V	10.0 V
20	20°45'	21°35'	41°20'	20°00'	23°40'	18,50'
30	15°40'	27°20'	25°40'	18°45'	20°40'	18°30'
100	11°35'	15°08'	37°00'	13°14'	17°18'	35°00'
500	10°20'	14°36'	20°05'	12°20'	15°50'	19°40'
1k	10°15'	13°50'	16°30'	12°08'	15°20'	16°40'
2	11°06'	14°45'	15°45'	13°30'	15°00'	16°05'
5	12°00'	17°25'	17°08'	16°20'	16°30'	16°18'
10	15°55'	20°00'	19°52'	20°05'	18°47'	18°18'
20	19°00'	21°30'	21°34'	22°00'	20°25'	19°10'
50	22°45'	22°08'	23°35'	22°48'	20°53'	20°00'
100	25°50'	22°08'	24°08'	20°15'	21°10'	20°10'

⊕ I 第 9 表

V	$\alpha'$		$\beta'$		$r'$	
	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
1.0	0.0591	190.5	0.427	151	2.38	461
2.0	0.0557	165.3	0.326	167	2.06	443
4.0	0.0424	171.2	0.578	149	2.5	602.5
8.0	0.0477	187	0.433	153.5	2.0	520
15.0	0.0334	174.5	0.408	199	2.0	960

II

V	$\alpha'$		$\beta'$		$r'$	
	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
1.0	0.0513	153	0.81	85.3	2.2	438
2.0	0.058	116	0.277	136	1.82	576
4.0	0.0468	132	0.372	149.5	2.31	554
8.0	0.0491	152	1.025	98.5	2.285	574
15.0	0.0451	157	0.712	139.0	2.085	815

⊖ I

V	$\alpha'$		$\beta'$		$\gamma'$	
	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
1.0	0.0554	198.5	0.317	200	2.9	352
4.0	0.0494	203	0.156	267	2.86	572
8.0	0.04525	187.5	0.233	232	2.9	330
15.0	0.0484	142	0.1665	263	2.86	607

II

V	$\alpha'$		$\beta'$		$r'$	
	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
1.0	0.053	196	0.1855	261	3.13	380
4.0	0.0368	201.2	0.176	273	2.965	362
8.0	0.033	270	0.332	202	2.67	530
15.0	0.0307	133	0.1685	246.5	1.81	616

第 10 表

$f$	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	1.0	3800	76°35'	1.22	3570	74°41'	0.81	2721	82°07'
30	0.862	2970	64°16'	1.02	2740	62°18'	0.732	2230	75°57'
100	0.622	2100	50°40'	0.72	1960	48°28'	0.572	1621	59°50'
200	0.455	1700	45°50'	0.535	1620	42°33'	0.444	1320	53°40'
500	0.293	1240	41°16'	0.337	1247	37°12'	0.301	973	47°17'
1k	0.198	950	41°44'	0.213	990	37°03'	0.206	740	46°12'
2k	0.133	740	38°55'	0.132	770	38°03'	0.141	570	44°41'
5k	0.0765	530	38°10'	0.072	520	40°26'	0.0842	373	45°26'
10k	0.0455	372	43°18'	0.0432	340	47°20'	0.0532	235	51°47'
20k	0.0287	248	48°12'	0.0287	215	52°14'	0.0372	145	55°52'
50k	0.0182	130	53°23'	0.0197	110	55°47'	0.0272	75	57°20'

第 11 表

$f$	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	1.44	400	87°56'	0.23	3300	87°17'	1.6	300	88°19'
30	1.41	250	86°13'	0.216	1400	86°32'	1.56	200	86°39'
100	1.33	140	83°20'	0.21	940	82°46'	1.51	120	83°30'
200	1.183	130	79°04'	0.196	740	79°42'	1.34	100	80°43'
500	1.068	95	72°20'	0.144	615	74°29'	1.26	85	71°32'
1k	0.937	70	67°38'	0.1327	520	66°30'	1.12	70	63°46'
2k	0.778	50	63°56'	0.113	433	58°30'	0.952	55	56°40'
5k	0.604	30	60°17'	0.084	330	49°00'	0.7	36	51°38'
10k	0.426	20	61°52'	0.058	245	48°40'	0.46	25	54°08'
20k	0.386	15	54°02'	0.0403	178	48°00'	0.37	18	50°05'
50k	0.556	10		0.0253	110	48°50'			

f	IV			V		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10		測定不能			測定不能	
30						
100						
200	0.084	1990	78°10'	0.298	295	83°40'
500	0.0906	640	79°40'	0.262	165	82°06'
1k	0.0918	366	78°04'	0.274	120	78°20'
2k	0.0993	207	75°33'	0.236	110	71°58'
5k	0.1033	150	64°03'	0.2	100	57°50'
10k	0.094	125	53°32'	0.135	83	54°51'
20k	0.065	108	49°40'	0.13	72	40°22'
50k	0.013	120	63°54'	0.112	50	29°35'

第 12 表

f	I			II		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	8.3K $\Omega$	0.32 $\mu$ F	80°32'	8.0K $\Omega$	0.36 $\mu$ F	79°13'
30	7.3	0.1	82°12'	7.0	0.13	80°18'
100	6.5	0.02	85°20'	6.2	0.03	83°20'
200	6.25	0.012	84°37'	5.8	0.015	83°46'
500	5.8	4000 pF	85°43'	5.4	5000 pF	85°09'
1k	5.6	1700	86°34'	5.2	2000	86°15'
2k	5.4	715	87°13'	5.08	915	86°39'
5k	5.2	273	87°26'	4.83	320	87°13'
10k	5.1	141	87°25'	4.73	182	86°54'
20k	4.92	83	87°04'	4.6	100	86°41'
50k	4.8	40	86°33'	4.5	50	85°58'

第 13 表

f	I						II					
	往			復			往			復		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
20	2.98	1640	58°30'	2.24	1880	62°10'	7.3	810	53°23'	6.75	850	54°15'
30	2.68	1400	54°50'	2.07	1770	55°30'	6.8	750	46°15'	6.06	749	49°30'
100	1.89	1070	38°15'	1.54	1200	40°45'	4.75	554	31°15'	4.46	579	31°40'
200	1.43	910	31°30'	1.22	985	33°30'	3.8	460	24°35'	3.576	487	24°40'
500	0.94	754	24°17'	0.837	830	24°40'	2.46	410	17°30'	2.376	430	17°20'
1 k	0.646	682	19°50'	0.588	736	20°15'	1.67	382	14°00'	1.666	400	13°35'
2	0.387	608	18°40'	0.358	648	18°57'	0.991	348	13°00'	0.965	361	12°53'
5	0.182	530	18°18'	0.176	550	18°12'	0.458	317	12°30'	0.443	325	12°30'
10	0.104	474	17°53'	0.0978	480	18°45'	0.242	290	12°46'	0.237	300	12°37'
20	0.0515	427	19°55'	0.0508	429	20°00'	0.118	262	14°25'	0.1157	268	14°25'
50	0.0214	311	25°35'	0.0217	324	24°20'	0.045	220	17°50'	0.0447	222	17°47'
100	0.013	260	25°15'	0.01175	260	27°35'	0.024	183	19°55'	0.024	186	19°40'
200	0.00745	198	28°20'				0.013	137	24°05'			

f	III						IV					
	往			復			往			復		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
20	3.78	809	67°05'	3.37	862.5	70°00'	1.64	1840	69°15'	1.8	1960	66°05'
30	3.66	705	64°05'	3.25	752.5	65°20'	1.65	1620	63°20'	1.68	1730	61°15'
100	2.94	560	44°00'	2.71	584	45°00'	1.31	1180	45°50'	1.33	1230	44°18'
200	2.58	472	33°10'	2.43	492	33°40'	1.101	1010	35°30'	1.12	1050	34°05'
500	1.88	420	22°00'	1.8	437	22°00'	0.81	866	30°30'	0.812	891	23°42'
1 k	1.39	392	16°18'	1.354	405	16°10'	0.6	793	18°30'	0.593	812	18°20'
2	0.913	358	13°40'	0.884	373	13°35'	0.385	721	16°00'	0.383	740	15°51'
5	0.439	330	12°23'	0.432	338	12°18'	0.189	643	14°40'	0.187	655	14°35'
10	0.23	305	12°48'	0.2285	315	12°30'	0.099	595	15°15'	0.107	593	14°45'
20	0.1064	278	15°05'	0.1055	283	14°55'	0.0502	540	16°22'	0.0519	535	16°00'
50	0.0391	230	19°30'	0.0386	232	19°35'	0.0202	440	19°40'	0.0194	440	20°28'
100	0.0197	193	22°40'	0.01965	193	22°40'	0.0104	371	22°28'	0.00918	359	25°45'
200	0.00965	142	30°10'				0.0041	269	35°50'			

f	V					
	往			復		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
20	1.99	1750	66°20'	2.34	1880	61°00'
30	1.99	1550	59°55'	2.12	1660	56°30'
100	1.58	1100	45°10'	1.64	1210	38°42'
200	0.97	1011	39°00'	1.33	1037	30°00'
500	0.813	835	25°10'	0.91	869	22°00'
1 k	0.617	750	19°00'	0.65	795	17°08'
2	0.437	690	14°48'	0.426	728	14°24'
5	0.214	618	13°30'	0.201	640	13°55'
10	0.109	561	14°35'	0.106	582	14°28'
20	0.0534	508	16°20'	0.06	578	12°55'
50	0.02125	427	19°20'	0.0201	434	20°00'
100	0.00913	350	26°30'	0.0091	350	26°35'
200	0.00418	270	35°13'			

第14表 (pH 2.62 作用皮膚)

t	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	8.69	600	71°55'	10.73	860	59°54'	16.4	800	50°26'
30	7.79	400	57°10'	8.0	630	46°27'	11.4	600	37°53'
100	5.6	310	42°32'	5.0	433	36°21'	6.4	450	28°55'
200	3.47	282	39°07'	2.9	368	36°45'	3.28	400	31°15'
500	2.14	225	33°32'	1.633	280	34°53'	1.68	320	30°38'
1 k	1.28	185	33°54'	0.928	210	39°15'	0.886	248	35°54'
2	0.74	138	37°58'	0.547	145	46°24'	0.499	180	41°33'
5	0.404	85	42°52'	0.339	78	50°30'	0.294	100	47°17'
10	0.262	53	48°52'	0.249	45	54°50'	0.207	58	52°52'
20	0.21	35	47°16'	0.211	32	49°40'	0.167	40	49°58'
50	0.18	28	32°18'	0.191	28	30°48'	0.137	28	39°42'

$f$	IV			V		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	16.5	523	61°30'	13.08	696	60°16'
30	12.56	400	46°37'	9.94	517.5	46°00'
100	7.66	300	34°45'	6.14	373	34°54'
200	4.366	260	35°04'	3.48	327.5	34°55'
500	2.556	210	30°43'	2.0	259	31°35'
1 k	1.446	175	32°10'	1.135	204.5	34°25'
2	0.816	128	37°23'	0.651	148	39°36'
5	0.426	78	43°50'	0.366	85.25	45°34'
10	0.283	49	48°52'	0.25	50.1	51°51'
20	0.228	32	47°28'	0.204	34.7	48°21'
50	0.198	25	32°45'	0.170	27.0	33°50'

(pH 9.16 作用皮膚)

$f$	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	9.12	823	64°35'	5.48	1340	65°13'	12.0	833	57°35'
30	7.32	620	49°32'	4.33	963	51°52'	9.1	610	43°50'
100	4.72	433	38°62'	2.73	660	41°29'	5.61	460	32°08'
200	2.83	380	36°31'	1.75	550	39°36'	3.16	410	31°33'
500	1.73	300	31°31'	1.0	395	38°54'	1.68	335	29°31'
1 k	0.998	248	32°43'	0.58	285	43°56'	0.881	265	34°18'
2	0.554	190	37°08'	0.371	188	48°49'	0.484	188	41°13'
5	0.293	115	43°23'	0.253	100	51°34'	0.279	100	48°45'
10	0.193	70	49°45'	0.191	60	54°10'	0.199	60	53°06'
20	0.154	43	50°18'	0.158	45	48°15'	0.164	40	50°26'
50	0.126	33	37°27'	0.133	35	34°25'	0.139	30	37°23'

$f$	IV			V		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	5.58	800	74°19'	8.045	950	64°19'
30	4.98	600	60°36'	6.435	698	49°50'
100	3.68	432	45°00'	4.185	500	37°17'
200	2.478	380	40°10'	2.55	430	35°54'
500	1.578	310	33°04'	1.5	335	32°20'
1 k	0.958	252	33°26'	0.854	262.5	35°23'
2	0.536	200	36°35'	0.486	191	40°38'
5	0.286	120	42°52'	0.278	110	46°11'
10	0.186	72	49°58'	0.198	65.5	50°47'
20	0.148	48	48°00'	0.156	44.0	49°16'
50	0.119	35	37°23'	0.129	33.25	36°36'

第15表 (pH 2.62 作用皮膚)

$f$	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	4.66	770	77°16'	4.15	603	81°04'	3.34	1070	77°22'
30	4.0	560	67°09'	3.75	440	72°46'	2.85	720	68°54'
100	3.14	400	51°44'	3.15	300	59°16'	2.22	490	55°37'
200	2.27	340	45°51'	2.31	250	54°05'	1.8	330	53°17'
500	1.7	280	33°57'	1.8	200	41°30'	1.33	240	45°00'
1 k	1.247	245	27°33'	1.345	170	40°12'	0.99	190	40°14'
2	0.882	210	23°17'	0.978	140	30°12'	0.636	185	34°04'
5	0.514	185	18°32'	0.593	118	24°31'	0.395	145	29°05'
10	0.276	160	19°48'	0.333	100	25°33'	0.248	120	28°09'
20	0.16	142	19°18'	0.211	82	24°43'	0.151	100	27°49'
50	0.074	120	19°45'	0.114	70	21°45'	0.086	75	26°15'

$f$	IV			V		
	R	R	$\delta$	R	C	$\delta$
10	6.04	810	72°57'	4.55	813	76°57'
30	5.11	590	60°28'	3.92	578	67°00'
100	3.7	410	46°24'	3.05	400	52°30'
200	2.57	350	42°05'	2.225	318	48°18'
500	1.8	290	31°25'	1.653	252	37°21'
1 k	1.277	250	26°35'	1.215	214	31°29'
2	0.877	220	22°25'	0.843	189	26°34'
5	0.495	190	18°42'	0.499	160	21°46'
10	0.263	168	19°54'	0.28	137	22°33'
20	0.152	148	19°30'	0.168	118	21°55'
50	0.072	120	20°15'	0.0865	96.3	20°55'

(pH 9.16 作用皮膚)

$f$	I			II			III		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	9.3	990	60°00'	5.6	800	74°16'	8.48	760	65°58'
30	7.1	720	46°07'	4.87	587	61°36'	6.9	520	55°57'
100	4.6	520	33°40'	3.69	440	44°28'	4.98	370	40°47'
200	2.89	450	31°28'	2.67	380	38°40'	4.09	330	30°43'
500	1.94	385	23°05'	1.96	330	26°13'	2.4	282	25°15'
1 k	1.31	342	19°33'	1.42	300	20°27'	1.69	258	20°04'
2	0.85	310	16°48'	0.97	270	16°55'	1.11	235	17°00'
5	0.442	273	14°48'	0.52	242	14°12'	0.582	210	14°39'
10	0.222	240	16°40'	0.261	220	15°29'	0.282	187	16°46'
20	0.122	220	16°33'	0.14	200	15°52'	0.152	168	17°17'
50	0.05	190	18°35'	0.06	170	17°23'	0.064	140	19°33'

$f$	IV			V		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	9.44	1007	57°55'	8.2	890	65°28'
30	7.4	670	46°57'	6.56	625	52°20'
100	5.07	490	32°47'	4.59	455	35°18'
200	3.82	420	26°26'	3.36	419	29°33'
500	2.21	360	21°45'	2.13	340	23°45'
1	1.52	328	17°42'	1.485	307	19°15'
2	0.982	295	15°21'	0.986	277	16°15'
5	0.497	268	13°27'	0.51	248	14°51'
10	0.247	238	15°10'	0.25	221	16°04'
30	0.123	215	16°46'	0.134	201	16°29'
50	0.05	180	19°30'	0.056	170	18°31'

第 16 表

$f$	正 常			アドレナリン作用皮膚			アセチルコリン作用皮膚		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	16.44	1320	36°16'	1.03	1710	83°41'	7.04	956	67°05'
30	9.64	1000	28°57'	0.994	1220	77°08'	6.34	740	48°30'
100	4.45	740	25°51'	0.88	960	62°02'	4.76	600	29°09'
200	2.45	630	27°19'	0.711	830	53°25'	2.986	555	25°39'
500	1.27	510	16°12'	0.534	670	41°45'	1.79	495	19°45'
1 k	0.714	425	27°42'	0.394	570	35°25'	1.02	445	19°21'
2	0.377	340	31°53'	0.255	478	33°11'	0.526	390	21.11'
5	0.179	230	37°46'	0.133	355	33°59'	0.213	310	25°46'
10	0.107	150	44°47'	0.0764	255	39°16'	0.106	230	33°08'
20	0.069	100	49°03'	0.047	180	43°15'	0.062	160	38°45'
50	0.0478	60	48°00'	0.027	110	46°56'	0.033	110	41°17'

第 17 表

$f$	正 常			アドレナリン作用皮膚			アセチルコリン作用皮膚		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	2.78	2110	69°45'	0.24	2300	88°00'	2.63	1420	76°48'
30	2.29	1330	60°11'	0.23	1970	85°08'	2.4	970	66°21'
100	1.68	860	47°44'	0.215	1470	78°45'	2.04	710	47°45'
200	1.266	688	42°29'	0.201	1200	73°09'	1.6	620	38°46'
500	0.856	548	34°09'	0.179	890	63°26'	1.094	515	29°28'
1 k	0.554	458	32°07'	0.158	730	54°05'	0.68	438	28°07'
2	0.322	368	33°44'	0.131	615	44°40'	0.38	365	29°54'
5	0.158	245	39°27'	0.0876	490	36°35'	0.177	255	35°13'
10	0.098	150	47°16'	0.054	385	37°25'	0.101	160	44°34'
20	0.0697	100	48°47'	0.0338	295	38°35'	0.0697	100	48°47'
50	0.049	65	45°00'	0.0188	198	40°34'	0.0497	68	45°00'



第 18 表

$f$	正 常			アドレナリン作用皮膚			アセチルコリン作用皮膚		
	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$	R	C	$\delta$
10	36.2	710	31°48'	2.22	900	82°50'	10.7	657	66°11'
30	23.27	570	21°52'	2.16	710	73°56'	8.22	540	50°04'
100	11.47	490	15°48'	1.92	590	54°34'	5.82	460	30°45'
200	6.77	460	14°20'	1.52	535	44°26'	3.44	438	27.49'
500	2.477	420	17°01'	1.062	460	33°07'	2.04	395	21.34'
1	1.218	385	18°44'	0.682	395	30°38'	1.102	355	21°49'
2	0.571	330	22°53'	0.382	332	32°08'	0.551	300	25°44'
5	0.225	248	29°47'	0.177	223	38°54'	0.23	220	32°13'
10	0.115	173	38°40'	0.103	140	47°44'	0.122	150	41°03'
20	0.07	117	44°12'	0.07	85	53°17'	0.079	100	45°09'
50	0.042	70	47°18'	0.049	50	52°26'	0.051	50	51°20'

第 19 表

		アドレナリン作用皮膚		アセチルコリン作用皮膚	
		$\oplus$	$\ominus$	$\oplus$	$\ominus$
$\alpha$	R <sub>1</sub>	0.288 M	0.24 M	0.207 M	0.222 M
	C <sub>1</sub>	128 pf	84 pf	162 pf	78 pf
$\beta$	R <sub>2</sub>	0.56 M	0.52 M	—	0.47 M
	C <sub>2</sub>	182 pf	101 pf	—	205 pf
$\gamma$	R <sub>3</sub>	2.8 M	2.14 M	1.57 M	1.26 M
	C <sub>3</sub>	400 pf	720 pf	350 pf	720 pf