

果菜類の電氣的物性について (第1報)

——生体電氣の概要と予備実験——

松山正彦・森邦男

Electric Physical Properties of Fruits and Vegetables (I)

Outline of Somatological Electricity and Preparatory Experiments

M. MATSUYAMA and K. MORI

I 緒言

果菜類の鮮度と品質および味覚を客観的に判別することは、農産物として多量に出荷する農家や農業協同団体においてはもちろんのこと、小規模の単位で農産物を扱うスーパーマーケットにおいても作業の機械化のためには非常に大切である。1度に数個しか選択する必要のない一般消費者においても果菜類の判別経験の乏しい者にとっては、判断が機械的または電氣的に処理できれば作業の正確化のために大いに助かる。

果菜類を生物とみなして電氣的物性を研究した例は従来あまり多くないが、上記の目的のため本報ではこの分野における研究の概要を掲げ、この種の研究を行なっていく上での予備実験として、各種の果菜類において成熟度に対する生体電氣の関係と果菜類に一定電圧を加えたときの電氣抵抗特性を測定し、果菜類の電氣的物性に関するデータを集める実験をした。

II 生体電氣の概要

生物の体に電氣的現象が生じていることは今から200年ぐらい前、イタリアのGalvaniがカエルの筋について実験を行ない発見したのに始まる¹⁾。その後、動物については脳波や心臓の活動電流および神経系の研究へと発展している。いろいろ興味ある実験も多いが、無精卵については2点間の電位差がみられず電氣的に死んでいることが知られており、さらに電位差が15~20 mVのときは雄、3~7 mVのときは雌であるということも報告されている。植物の分野においても生命力あるものは電氣的現象を有し、野沢²⁾は生長しつつある柿は頂点とへたの部分とでは2 μ V くらいの電位差があると報告している。小菅³⁾⁴⁾はソラマメの根について研究し、細胞分裂帯と伸長部で大きな電位を示すが、伸長を完了した部分では低電位を示すとしている。生きている葉や果菜類は正の電位を示すが、虫食いや枯死した部分は他の健全な部分に比較し負の電位を示す。木川⁵⁾、相見⁶⁾によれば、リンゴを傷つけると直後に大きな電位を示すが徐々に減るとしている。リンゴの電氣的構造⁷⁾はBainesによれば、中心の芯は負であるが果肉は正であり、また果柄は負の端子で反対側が正の端子である。果皮は電氣的エネルギーの損失を防ぐ働きをする。生体電氣に関して報告されているもののなかから、数例をここに掲げた。

III 果菜類に関する1実験

*実験にあたって

今回の実験は果菜類の生体電気に関する研究を行なっていく上で、果菜類の起電力の大きさはいくらぐらいか、電極の形状や大きさおよび間隔をどの程度にして装置を組み立て、そろえていったら良いかなどを見当付けることを目的とした予備実験である。

果菜類は、スイカ、メロン、ナシ、リンゴの新鮮なものと成熟したものを用意した。電源は菊水電子工業のデジタル表示の直流定電圧電流電源を使用して一定電流を取り出した。電流計は島津製作所製で3, 10, 30, 100 μ A レンジの使用できる反照形電流計を用意した。電極は銅板で平行平板電極をつくり、電極面積は2 cm \times 2 cmと2 cm \times 1 cmの2種類で、電極間隔は1 cmと2 cmの2種類とし、それぞれ一定条件で実験できるよう固定した。

***実験方法と結果**

実験は生体電気の大きさの測定実験と、果菜類の電気抵抗に関する実験の2つを行なった。各実験における要因と水準を Table 1 に示す。

Table 1 要因と水準

	Experiment A	Experiment B
果 菜 類	スイカ, メロン, ナシ, リンゴ	スイカ, メロン, ナシ, リンゴ
鮮 度	新 鮮, 成 熟	新 鮮, 成 熟
電 極	間隔 2 cm 面積 2 \times 2 cm ² 間隔 2 cm 面積 2 \times 1 cm ² 間隔 1 cm 面積 2 \times 2 cm ²	間隔 2 cm 面積 2 \times 2 cm ² 間隔 2 cm 面積 2 \times 1 cm ² 間隔 1 cm 面積 2 \times 2 cm ²
負 荷 電 圧	—————	0 mV, 40mV, 80mV

実験A 果菜類の種類と成熟度による生体電気の影響

《実験方法》

1. Fig. 1 に示すごとく 直流定電圧電源から取り出した電流を平行平板電極を介して果菜類の生体電気の向きと逆向きにして回路をつくる。

2. 定電圧電源のレンジを 100 mV (内部低抗 1 Ω) に設定し出力を 0 mV にすると、電流計の 10 μ A (内部抵抗 18.3 Ω) のレンジにおいて生体電気によりある電流値を示す。

3. 上記の状態から徐々に定電圧電源の電圧を加えると、電流計のメータの指示値がだいに減少し 0 μ A となる。このとき果菜類の生体電気と負荷電圧とのバランスがとれていることになるので、生体電気の大きさを負荷電圧の大きさとして知ることができる。

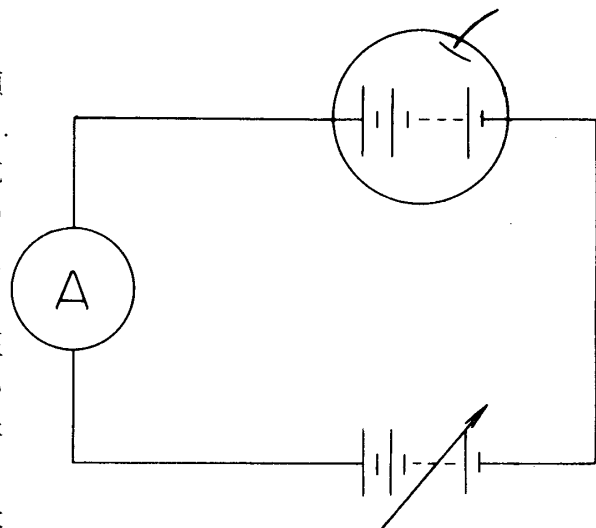


Fig. 1 実験 A の原理図

《実験結果》

実験 A の結果を Fig. 2 に示す。生体電気の値に対する果菜類の種類と鮮度および電極の影響を調べるため実験 A の結果を分散分析したが、集められた実験データの都合上実験 A のデー

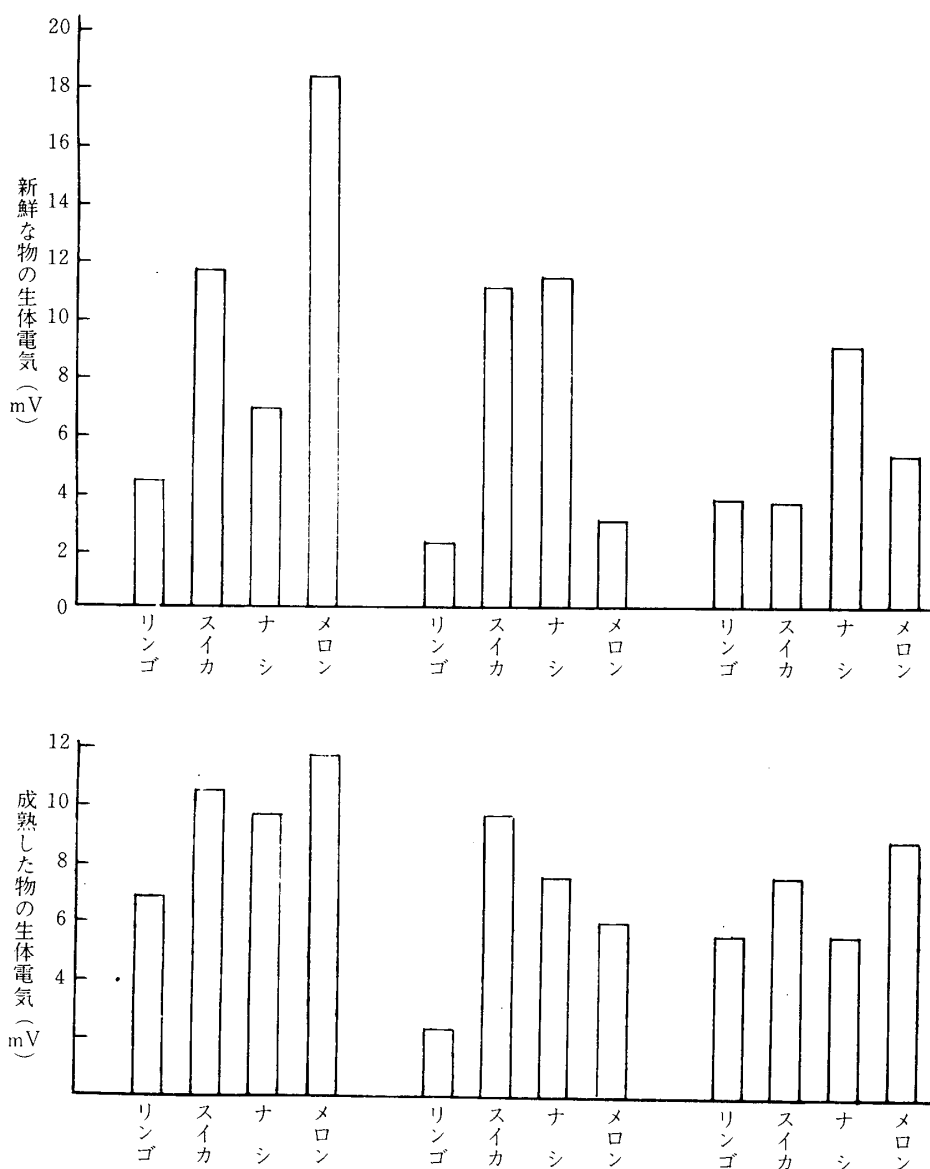


Fig.2 生体電気の大さき

タを，生体電気の値に対する果菜類の種類と鮮度および電極間隔の影響と，生体電気の値に対する果菜類の種類と鮮度および電極面積の影響の2つの実験として分割して分散分析した．結果を Table 2 と Table 3 に示す．

この結果，今回の実験条件のもとにおいてではあるが，果菜類の種類と電極間隔および電極面積により生体電気に有意差が現われることがわかった．即ち電極面積が一定のとき，電極間隔が1 cmと2 cmの場合を比較してみると生体電気の大きさは平均6.59 mVと9.80 mVとなり，電極間隔の大きい方が生体電気の値は大きかった．電極間隔を一定にして電極面積が4 cm²と2 cm²の場合を比較してみると，生体電気の大きさは平均9.80 mVと6.19 mVとなり，電極面積の大きい方が生物電気の値は大きかった．果菜類の種類によって生体電気の大きさの平均値を比較すると，リングは4.18 mV，スイカは8.93 mV，ナシは8.17 mV，メロンは8.80 mVとなりリングが極端に小さかった．

実験B 果菜類の性状と電気抵抗特性

Table 2 分散分析表

Source of variation	Sum of squares	Df	Mean square	F	F(0.05)	F(0.01)
果 菜 類 (A)	524.322	3	174.774	4.882*	2.76	4.13
鮮 度 (B)	8.126	1	8.126	0.227	4.00	7.08
電 極 間 隔 (C)	205.750	1	205.750	5.747*	4.00	7.08
A × B	29.606	3	9.869	0.276	2.76	4.13
A × C	411.700	3	137.233	3.833*	2.76	4.13
B × C	0.000	1	0.000	0.000	4.00	7.08
A × B × C	182.376	3	60.792	1.698	2.76	4.13
Residual	2291.173	64	35.800			
Total	3653.054	79	46.241			

Table 3 分散分析表

Source of variation	Sum of squares	Df	Mean square	F	F(0.05)	F(0.01)
果 菜 類 (A)	344.361	3	114.787	3.055*	2.76	4.13
鮮 度 (B)	3.281	1	3.281	0.087	4.00	7.08
電 極 面 積 (C)	259.186	1	259.186	6.897*	4.00	7.08
A × B	41.790	3	36.403	0.371	2.76	4.13
A × C	191.191	3	13.930	1.696	2.76	4.13
B × C	21.838	1	63.730	0.581	4.00	7.08
A × B × C	184.969	3	21.838	1.641	2.76	4.13
Residual	2404.934	64	61.656	1.857		
Total	3451.551	79	37.577			

《実験方法》

1. Fig. 3 に示すごとく定電圧電源からとり出した電流を平行平板電極を介して果菜類の生体電気の流れる方向と同じにして回路をつくる。

2. 定電圧電源のレンジを 100 mV に設定し、電圧を 0 mV から順に 40 mV, 80 mV と増加させたときの電流計のメータの値を 10 μ A のレンジを使用して測定する。

《実験結果》

実験Bの結果をFig. 4 に示す。果菜類の種類と鮮度と電極の形状および負荷電圧の差によって流れる電流に差が生じるか否か、またオームの法則は成立するか否かを調べるため

に分散分析した。得られたデータの都合上果菜類の種類と鮮度と電極の間隔および負荷電圧に

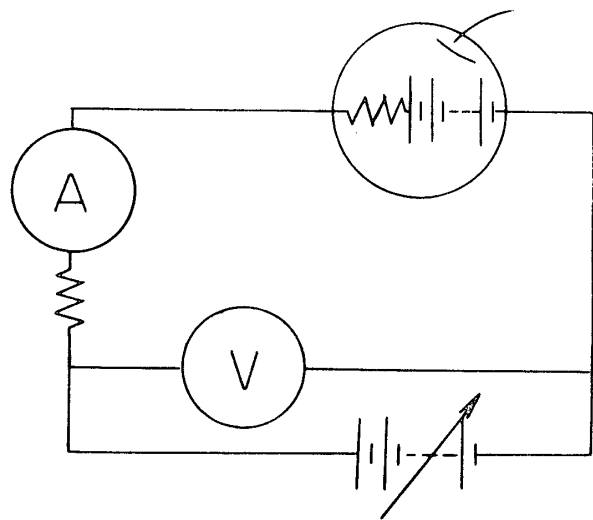


Fig. 3 実験 B の原理図

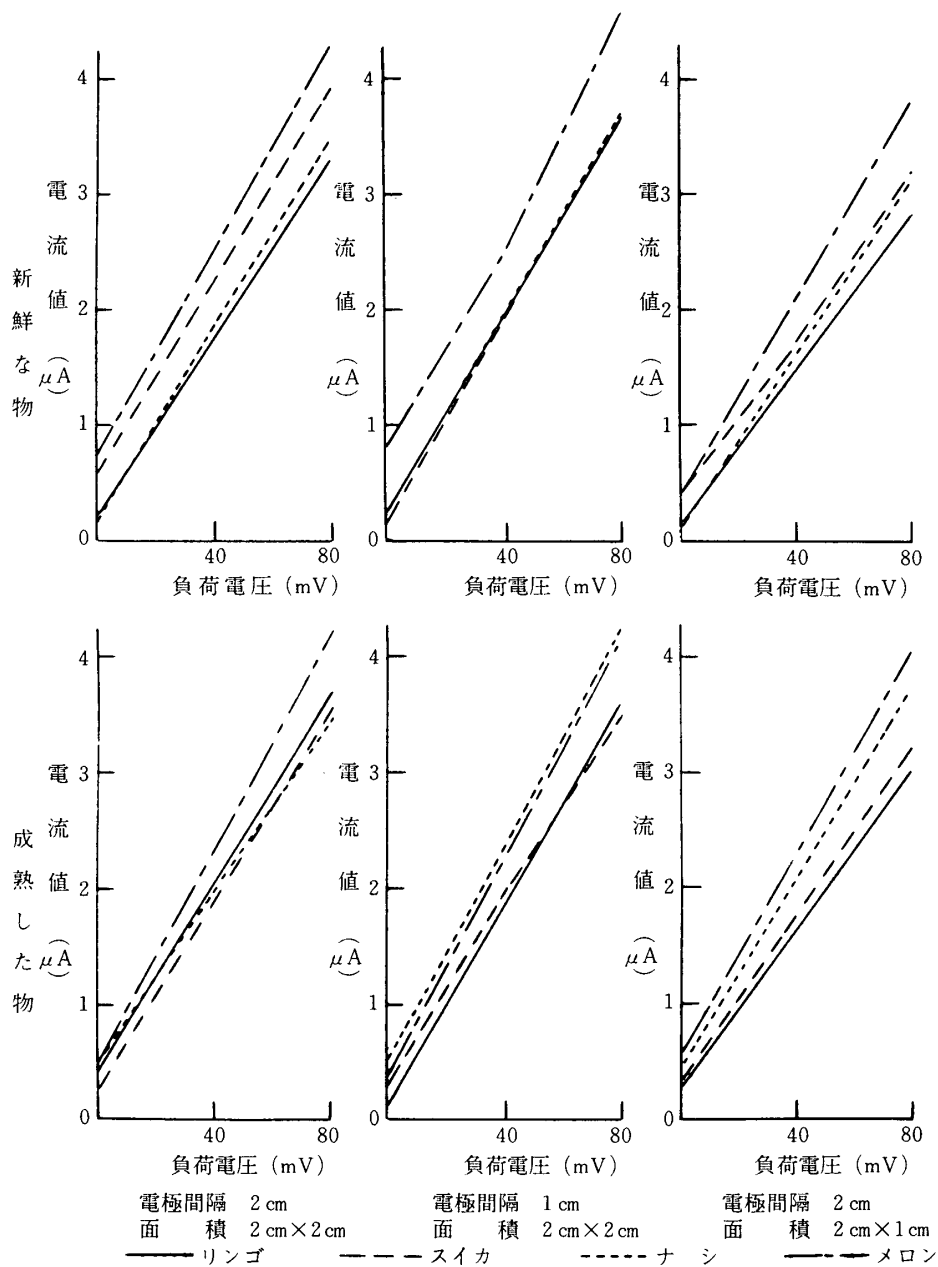


Fig. 4 果菜類の電気抵抗特性

よって果菜類に流れる電流値の影響と、果菜類の種類と鮮度と電極の面積および負荷電圧によって果菜類に流れる電流値の影響との2つに分割して分析した。結果をTable 4とTable 5に示す。

この結果、今回の実験条件においては、果菜類の種類と電極面積および負荷電圧によって流れる電流値に有意差が表われることがわかった。即ち果菜類への負加電圧を0 mVから40 mVさらに80 mVと増加するとき、果菜類に流れる電流値は新鮮なもの成熟したものどちらの場合も果菜類の種類に関係なく、非常に高い相関を示した。電極間隔が一定の場合、果菜類に流れる電流値は、電極面積が4 cm²と2 cm²の場合を比較してみると電極面積が4 cm²の場合の方が大きくなった。果菜類に同じ負荷電圧を加えても流れる電流は、リンゴは少なくメロンは多かった。

Table 4 分散分析表

Source of variation	Sum of squares	Df	Mean square	F	F(0.05)	F(0.01)
果 菜 類 (A)	9.761	3	3.254	22.366**	2.60	3.78
鮮 度 (B)	0.068	1	0.068	0.467	3.84	6.63
電 極 間 隔 (C)	0.025	1	0.025	0.169	3.84	6.63
電 压 (D)	466.299	2	233.149	1602.778**	3.00	4.61
A × B	3.688	3	1.229	8.451**	2.60	3.78
A × C	1.008	3	0.336	2.311	2.60	3.78
A × D	1.518	6	0.253	1.740	2.10	2.80
B × C	0.017	1	0.017	0.119	3.84	6.63
B × D	0.122	2	0.061	0.420	3.00	4.61
C × D	0.754	2	0.377	2.592	3.00	4.61
A × B × C	1.390	3	0.463	3.186	2.60	3.78
A × B × D	0.594	6	0.099	0.680*	2.10	2.80
A × C × D	0.606	6	0.101	0.695	2.10	2.80
B × C × D	0.072	2	0.036	0.248	3.00	4.61
A×B×C×D	0.621	6	0.103	0.711	2.10	2.80
Residual	27.929	192	0.145			
Total	51.769					

Table 5 分散分析表

Source of variation	Sum of squares	Df	Mean square	F	F(0.05)	F(0.01)
果 菜 類 (A)	10.563	3	3.521	25.472**	2.60	3.78
鮮 度 (B)	1.011	1	1.011	7.316**	3.84	6.63
電 極 面 積 (C)	4.568	1	4.568	33.048**	3.84	6.63
電 压 (D)	404.354	2	202.177	1462.646**	3.00	4.61
A × B	2.582	3	0.861	6.227**	2.60	3.78
A × C	0.287	3	0.096	0.693	2.60	3.78
A × D	2.396	6	0.399	2.889**	2.10	2.80
B × C	0.385	1	0.385	2.789	3.84	6.63
B × D	0.009	2	0.005	0.033	3.00	4.61
C × D	0.392	2	0.196	1.419	3.00	4.61
A × B × C	0.504	3	0.168	1.215	2.60	3.78
A × B × D	0.300	6	0.050	0.362	2.10	2.80
A × C × D	0.947	6	0.158	1.141	2.10	2.80
B × C × D	0.279	2	0.140	1.009	3.00	4.61
A×B×C×D	0.764	6	0.127	0.921	2.10	2.80
Residual	26.540	192	0.138			
Total	455.187	239	1.905			

*考 察

今回の実験では、実験Aと実験Bのどちらにおいても果菜類の鮮度が実験結果に影響することは認められなかったが、これは実験対象とした果菜類の鮮度の基準を、一般小売店から購入した日に実験したものを新鮮とし、購入した1週間後に実験したものを成熟としたが、果菜類の種類によっては必ずしも菜園から収穫した1～2日後のものを新鮮とできなかつたためとも思われるので、今回の実験結果から即電気的特性によって果菜類の鮮度を判別できないと決定することはできない。今後この種の実験を続けていくときには菜園に直接出向いて果菜類を入手する必要がある。

生体電気の実験にあたっては、果菜類の種類や電極の形状によって電気特性に差があるか否か調べるために、生体電気の流れる方向と平行平板電極の向きとの関係が生体電気の大きさに影響しないように電極の向きをランダムに変化させて実験を行ったが、生体電気の大きさや方向を知るためには、今後2本の針状電極を使用して実験を行なう必要がある。

IV 今後の実験の方向

今回の実験では平行平板電極の使用による末端効果の影響を考慮しなかったが、果肉を直方体に切断して電極にはさめば末端効果を除くことができる。

平行平板電極を使用するときは、果肉との接触を密着かつ一定にするためにスプリング等により一定荷重を電極に加えて測定すると、より正確な実験をすることができる。

電極と果肉との密着度による影響を除去して果菜類の糖度と抵抗の関係について知るため、果汁をしぼり直接果汁に電極を挿入して測定することもやってみたい。

果菜類の電気的特性を実験していくとき、電極を直接果肉に挿入して測定すると分極作用によって正確な値が測定されにくいので、甘汞電極や亜鉛硫酸亜鉛電極などの不分極電極を使用して実験していく必要がある。

V 要 約

本報では、生体電気に関する説明と研究の概要を掲げ、今後果菜類の電気的特性に関する実験を行なっていくうえでの予備実験をした。

実験に当って果菜類と銅製の平行平板電極と直流定電圧電流電源および μA 単位の測定できる電流計を用意した。

今回は果菜類の種類と成熟度による生体電気の影響と、果菜類の性状と電気抵抗特性に関する実験を行なったが、その結果、

1. 電極面積が一定のとき、電極間隔が1 cmと2 cmの場合を比較してみると生体電気の大きさは平均6.59 mVと9.80 mVとなり、電極間隔の大きい方が生体電気の値は大きかった。
2. 電極間隔を一定にすると、電極面積が4 cm²と2 cm²の場合生体電気の大きさは平均9.8 mVと6.19 mVとなり、電極面積の大きい方が生物電気の値は大きかった。
3. 果菜類別にみるとリンゴの生体電気がスイカとナシおよびメロンに比べて小さかった。
4. 果菜類に電極を固定し、負荷電圧を徐々に増すと流れる電流は比例して増加した。
5. 電極間隔を一定にして果菜類に負荷電圧を加え、電極面積が4 cm²と2 cm²の場合を比較すると流れる電流は電極面積が4 cm²の方が大きかった。
6. 果菜類に同じ負荷電圧を加えても、流れる電流はリンゴが少なくメロンは多かった。

以上のことがわかった。

参 考 文 献

1. 本川引一・奥田一男・富田軍二：最新一般生理学，朝倉書店（1956）
2. 野沢典美：生物学・医学用応用電気学，共立社（1941）
3. 小菅進之助：そらまめ（*Vicia faba*）の根に於ける電位差分布に就いて，植物学雑誌，47，560（1933）
4. 小菅進之助：そらまめ（*Vicia faba*）の根に於ける電位差分布に就いて，植物学雑誌，47，561（1933）
5. 木川引一：医学・生物学電気的実験法，南山堂（第2版）（1951）
6. 相見靈三：細胞生理学実験法，222-224，養賢堂（1953）
7. 池内義則：植物の電気発生現象に就いて，農電季報，3，11-16（1951）