

研 究 紀 要

第 2 号

昭 和 4 1 年

奈 良 工 業 高 等 専 門 学 校

目 次

研削割れにおよぼす残留応力の X 線的研究	有 間 淳 一	1
X-ray Investigation of Stress Measurement on Cu-Zn Alloys . .	Jyunichi ARIMA	11
類似性を応用した効果的物理教育	伊 藤 信 隆	23
Physical Analysis of the Energy Transducing Reaction in Mitochondria	Nobutaka ITO Kozo UTSUMI Ayako NAKATSUKA	31
火災による架空電線の軟化について	今 西 周 蔵 野 口 泰 正	37
電気鉄道におけるトロリー線の雪害について	今 西 周 蔵 高 岡 光 男	43
集束形電波レンズ	阿座上 孝	47
表面波合成による H 線路の伝送姿態	阿座上 孝	55
夢と現実—クリテックとしてのノリス—	渡 辺 定 雄	61
「マーデイ」に於けるメルヴィルの変貌	即 席 水 雄	71
William James and His Ideas (1)	Hirotake TAKITA	83

研削割れによぼす残留応力のX線的研究

有 間 淳 一

X-ray Investigation of Residual Stress Measurement on Grinding High-Carbon Steels

by Jyunichi ARIMA

1. 緒 言

機械部品に対する研削加工は工程における精密仕上げ法として最も広く行なわれている。しかしながらこの加工法においては、研削砥石を高速度(1000~2000rpm)で回転させて工作物に接触せしめるため工作物表面およびその近傍では瞬間的にきわめて高温に瀑されることになり、このため高炭素鋼の熱処理材では表面にしばしば研削割れを生ずる。しかもこの割れは非常に微細なものから数十ミリに達する大きな亀裂まで種々様相を示すものであって、仕上工程におけるこのような現象は、部品の強度に重大な影響をおよぼすことが考えられる。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 研削割れの発生要因としては、工作物の材質、熱処理条件および研削加工条件などが考えられるが、実際研削作業中にはこれらの因子が重疊するために、本質はきわめて複雑である。また研削加工面に残留応力を生ずることはこれまで2, 3報告されているが工作物の材質、熱処理の相異により発生状況がかなり異なるようである。またこの種の残留応力は主として、工作物表面に大きく発生することを考えると、研削加工にもとづく工作物の材質変化および上述の研削割れとの間に密接な関係を有しているものと考えられ、この問題に対して検討を行なうことは、研削割れ発生の機構を明らかにし、また防止の対策を確立する上にきわめて重要であると考えられる。

以上の諸点に鑑み本研究においては、金属材料表面の残留応力に対する唯一の方法であるX線応力測定法を採用し、種々の研削加工条件の下で発生する残留応力と研削割れとの関係について実験的検討を行なおうとするものである。

本報告は、この種の問題に関する緒言的な研究であるが、高炭素鋼熱処理材について得られた結果および同時に行なった研削抵抗、研削温度の測定結果、硬度、組織

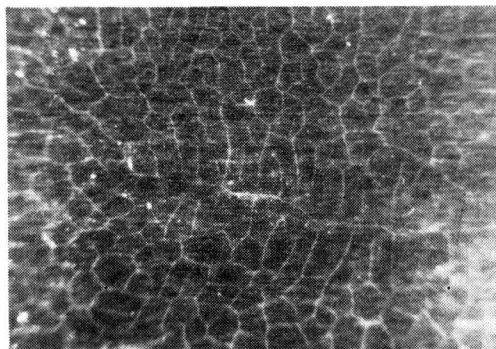
変化を観察した結果などについて述べる。

2. 実験方法および結果

上述のごとく本研究においては高炭素鋼熱処理材に対し、研削加工に基づく残留応力、研削抵抗および研削温度などを測定し、研削割れとの関係を検討したものであるため、以下各々について実験方法および結果を述べることにする。尚本研究に使用した装置は日立精密平面研削盤であって、外径280mm、内径50mm、巾50mmのWA46J型砥石を用いた。また砥石周速度は1600m/minである。

(1) 研削割れの生ずる限界切込量の測定

本実験に先立ち、研削割れの発生条件を調べるために焼入したのち焼戻し温度を数段階変化せしめたSK5材について研削割れの生ずる限界切込量の測定を行なった。研削条件は砥石周速度1600m/min、工作物速度20m/minであって所定の切込量で工作物表面を只一研削した場合



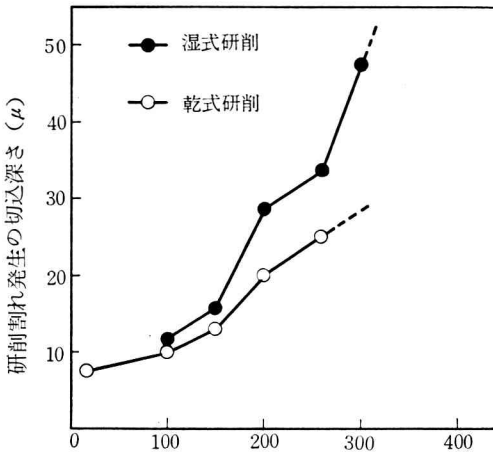
(×600)

写真1. 研削割れの1例

の研削面の状態をその都度観察した。写真1は研削割れ

本研究は岡山大学工学部本田和男教授との共同研究であって昭和41年7月X線材料強度シンポジウム(日本材料学会)で講演発表した。

の実例を示した。また第1図は研削割れの発生し始める切込の深さと焼戻し温度の関係を示したものである。図中黒丸は、冷却液を用いて湿式研削を行なった場合、白丸は乾式研削を行なった場合の測定結果である。これよ



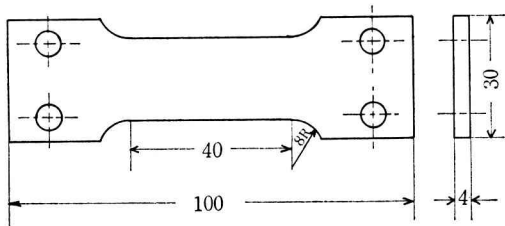
第1 図研削割れの発生する限界切込量と焼戻し温度

り焼入材においては、焼戻し温度が高くなると研削割れ発生に要する砥石切込量が増加する。すなわち研削割れは生じ難くなり、また湿式研削を行なうと研削割れが発生し難いことが分かる。

(2) 研削加工にともなう残留応力変化

I) 試験片

本実験において用いた材料はSK5材であって、所定の形状および寸法に加工したのち850°Cにて1時間真空炉中にて焼きなましをほどこしたものを、およそ850°Cより水焼き入をほどこしたのち250°Cにて2時間保持したものの2種類を試験片として採用した。試験片の形状、寸法を第2図に示し、用いた材料の化学分析値を第1表に



第2図 試験片

材 料	C	Si	Mn	P	S
	0.830	0.250	0.660	0.013	0.024

(%)

第1表 SK5材の化学成分

示す。

II) X線による応力測定方法

本実験に用いたX線装置は写真2に示すような封入管

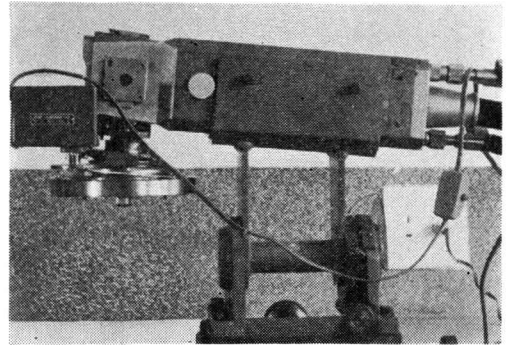


写真2. X線回折装置

式X線回折装置であり、CrK α_1 線を照射して得られる(211)面回折線を背面反射法によりフィルム上に求め、次式により応力値を求めた。X線使用条件を一括して第2表に示す。

X線回折装置	封入管式写真法回折装置
使用 X 線	CrK α_1 線
フ イ ル タ ー	V
管 電 圧	35KV
管 電 流	10mA
標 準 物 質	Cr粉末(300メッシュ)
使用 フィルム	富士工業用200type
露 出 時 間	60mm

第2表 X線使用条件

$$\sigma x = K(\text{Cosec}\theta\psi - \text{Cosec}\theta_{\perp}) \quad (1)$$

$$K = \sin\theta_0 [E/\nu + 1/\sin^2\psi]$$

θ_0 : 無応力状態の結晶に対するX線の回折角

θ_1 : 試料法線方向より入射したX線の回折角

$\theta\psi$: 試料法線方向より ψ_0 傾けて入射したX線の回折角

K: X線の入射角 ψ によって定まる常数

なお応力測定法としては、これまで度々報告して来た結果にもとずき、 $\sin^2\psi$ 法を採用した^{(7),(8)}。すなわち試験片表面中央部にCrK α_1 線を直径1mmの線束にして、垂直および測定方向を含む平面内において15°・30°・45°の方向より入射して得られる(211)面回折線の半径より $\text{cosec}\theta\psi$ を測定した。これより $\text{cosec}\theta\psi - \sin^2\psi$ の直線関係を求

め、(1)式を用いて応力値を算出した。なおこの場合 $\operatorname{cosec}\theta\psi$ を精密に測定するため、標準物質としてCr粉末を用いて同一フィルム上に被測定物と上記標準物質の回折線を同時に求め、フィルム—試料間の距離および回折線の半径を正確に求め得るようにした。またこの場合の回折線半径の測定には自動記録式マイクロフォトメーターを採用した。得られた回折線写真およびマイクロフォトメーター曲線の1例を写真3に示す。

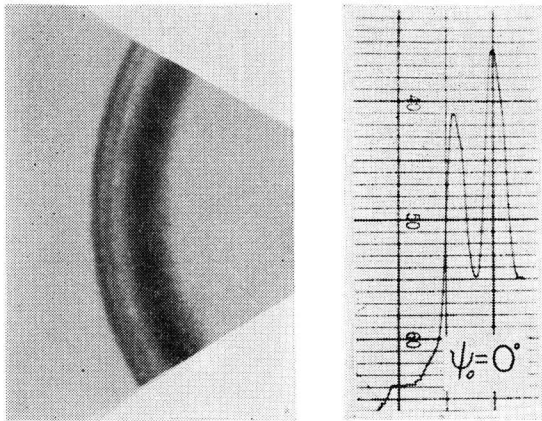


写真3. 回折線写真およびマイクロフォトメーター曲線
(SK5焼入材 CrKα線)

なお本実験においては、研削表面の残留応力をX線的に測定すると共に表面を逐次腐食することにより、残留応力の分布を測定する必要がある。この場合、腐食によ

る表面除去の過程において各段階で表面の残留応力をX線的に測定するときは、表面を除くことによる応力解放の影響があって除去前の残留応力を示さない。すなわち腐食により試料表面の応力は一様に除去されるが、試験片断面の中立軸の変位に基づき、新らしく加わる応力を加算した残留応力をX線で測定していることとなる。^{(9),(10)}したがって第3図に示すような装置を使用し、腐食法を採用して任意の腐食を行なった場合に測定したX線応力値から、上記腐食による応力解放の影響を取除いてX線による残留応力分布を求めた。

すなわち腐食に伴って生じる試験片の曲率の変化を前記第3図に示す装置により測定し次式により計算で応力値が求められる。

$$\sigma = Co \left(t^2 \frac{dx}{dh} - 4xt + 2 \int_0^h x dh \right) \quad (2)$$

$$Co = E / 12Lg$$

σ : 任意の腐食後の厚さ t における残留応力
(kg/mm^2)

t : σ を計算しようとする層の厚さ(mm)

$$t = t_0 - h$$

t_0 : 腐食前の試験片の厚さ(mm)

h : 任意の腐食層の厚さ(mm)

x : スケールの読み(mm)

E : 弾性定数(Kg/mm^2)

L : 鏡とスケール間の距離(mm)

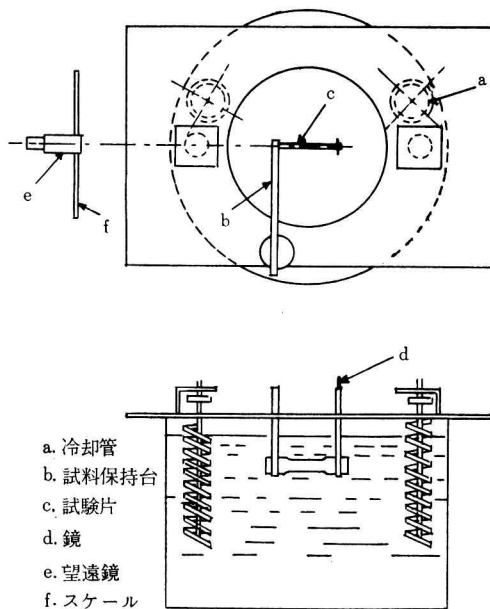
g : 腐食部分の長さ(mm)

第2式の右边第1項は腐食による応力解放にもとずき加算される応力、すなわち表面を除去した場合に測定されるX線の応力に対応する。したがって表面を逐次除去して行く過程で測定されるX線応力値より第2式で計算される右边第2項以下の応力値を差し引けば、求むる残留応力分布が得られる。

III) 実験結果

第3表はSK5焼きなまし材および焼入材に対しX線的に残留応力を測定する場合の計算過程の1例を示したものである。また第4図は第3表における結果を $\operatorname{cosec}\theta\psi - \sin^2\psi$ の関係で示したものであって、きわめて良い直線性を示すことがわかる。

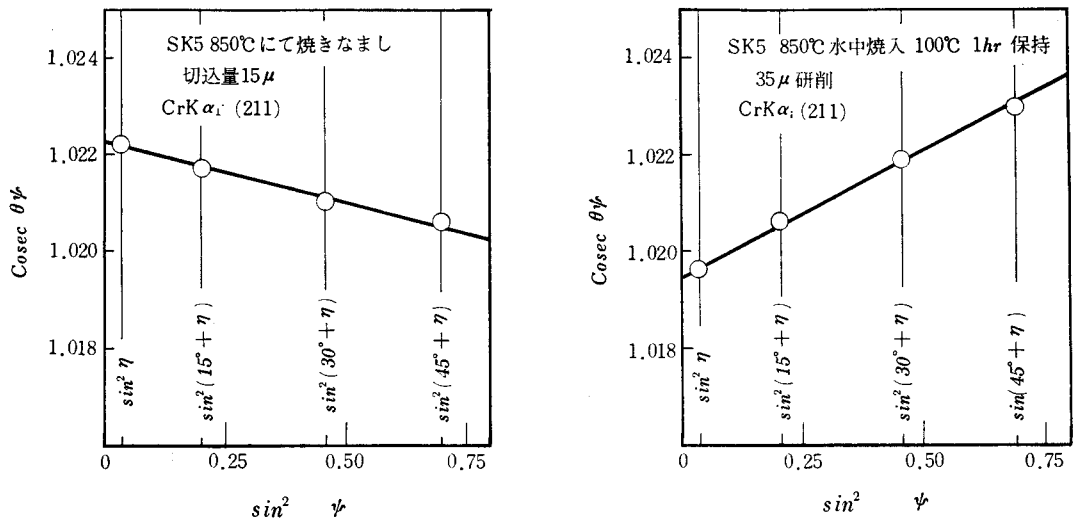
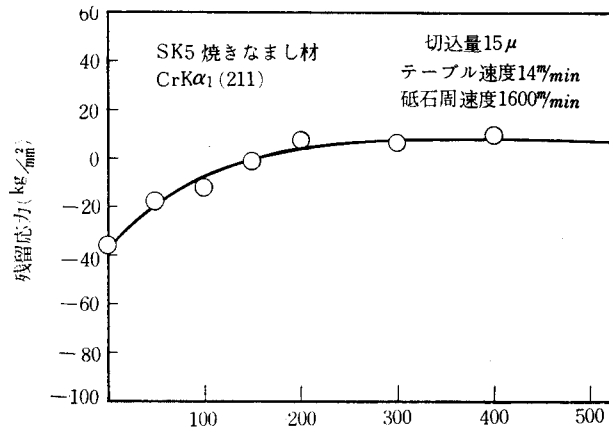
第5図は焼きなまし材に $15\mu 1$ 回の研削加工をほどこしたのについて、前述の方法にもとずき残留応力を測定し、表面からの深さとの関係で示したものである。この場合、表面には圧縮残留応力の存在が認められ、内部に至り、この値は減少して引張側に転じているのが認められる。また第5図(a)は850°Cより水焼き入れしたの



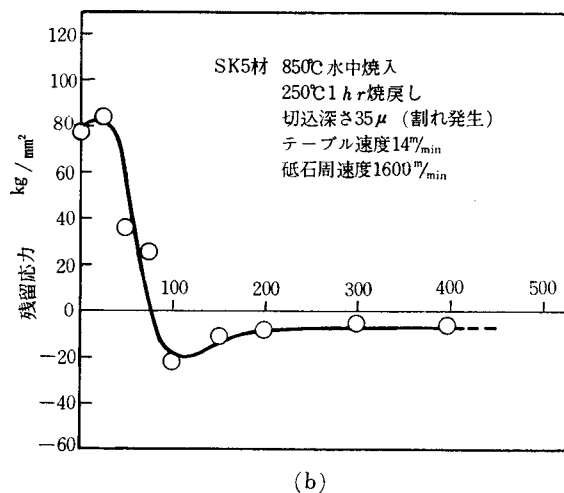
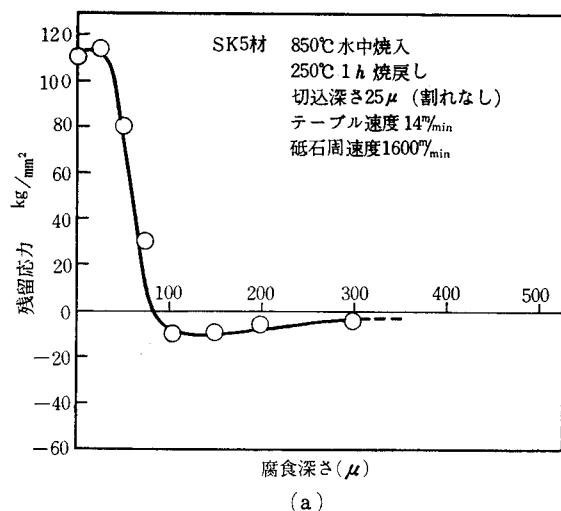
第3図 腐食法による残留応力測定装置

SK5 850°Cにて 焼なまし	傾斜角 ψ	標準物質回折線 半 径 ℓ_1 (mm)	フィルム—試料間 距 離 R(mm)	試料回折線 半 径 ℓ_1 (mm)	$\tan 2\eta$	2η	$\text{cosec}\theta\psi$	測定応力 (Kg/mm ²)
切込量 15 μ	0°	25,363	49,528	22,011	0.443834	23°56'00	1.022214	-35.7
	15°	25,438	//	21,752	0.437332	23°37'28	1.021628	
	30°	25,367	//	21,355	0.430548	23°17'65	1.021024	
	45°	25,330	//	21,164	0.427318	23°08'27	1.020737	
SK5 50°Cより 水焼き入れ 100°C1hr 保 持 切込量 35 μ	0°	25,210	49,293	20,165	0.409085	22°14'92	1.019149	110.5
	15°	25,103	//	20,825	0.424279	22°59'43	1.020469	
	30°	25,172	//	21,824	0.443410	23°54'79	1.022177	
	45°	25,140	//	22,620	0.460167	24°42'62	1.023709	

第3表 研削材の残留応力測定結果

第4図 研削材に対する $\text{Cosec}\theta\psi$ - $\sin^2\psi$ 線図

第5図 焼き残し材の残留応力分布



第6図 焼入材の残留応力分布

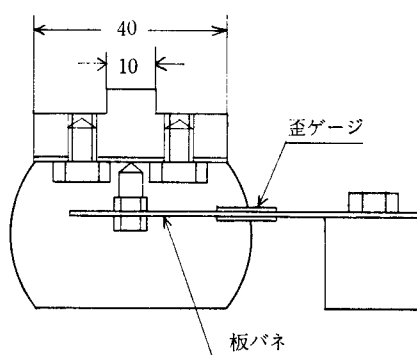
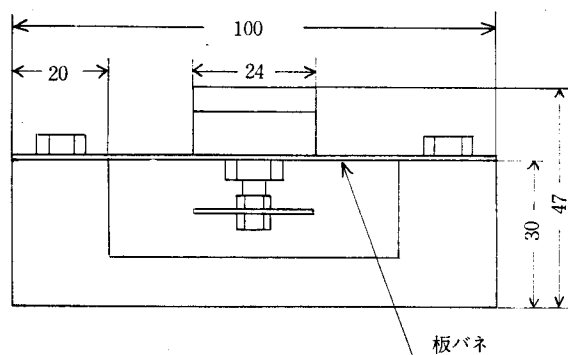
ち、250℃にて1時間焼戻した試験片に対し25μ研削を行なった場合の残留応力分布を示したものである。この場合表面に研削割れの発生は認められないが、前述の焼なまし材について得られた結果と異なり、きわめて大きな引張残留応力が存在していることが認められる。また(b)は焼き入れ焼戻し処理をほどこしたのち35μ研削を行なった試験片の残留応力分布を示したものである。この場合、研削面には一様に微細な割れの発生が認められ(a)の場合と同様引張残留応力の存在が認められた。

(3) 研削加工に伴う研削抵抗および温度の測定

実際研削加工を行なう場合、工作物には砥粒の接触にもとづく抵抗と同時に発熱の両者が作用する。本実験においては、研削抵抗および研削温度が、工作物の材質あるいは加工条件によりどの程度変化するものであるかを調べるために両者の測定を行なったものである。

I) 研削抵抗の測定方法

本実験に使用した材料はSK5材であって、所定の形状寸法に加工したのち850℃にて1時間真空炉中にて焼なましをほどこしたもので、および850℃より水焼き入れをしたのち、100℃にて1時間保持した熱処理材の2種類を試験片として採用した。回転している砥石が工作物に接触する場合、砥石の接線方向および研削面に対し垂直方向に研削力が作用し、工作物は両者の合成した方向に最も大きな力を受ける。本実験においては、研削面に対し垂直方向の研削力を測定することにした。第7図は、研削抵抗測定用の治具の概略を示した

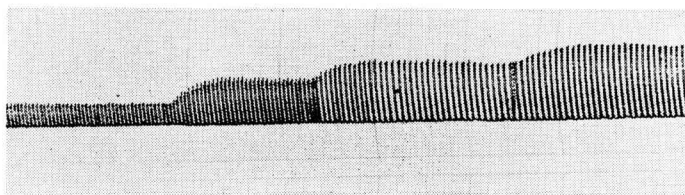


第7図 研削抵抗測定治具

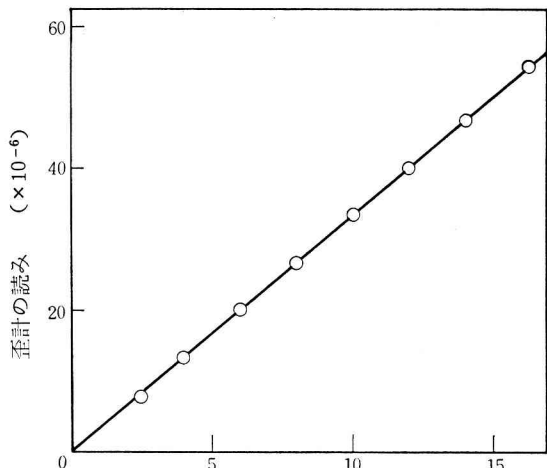
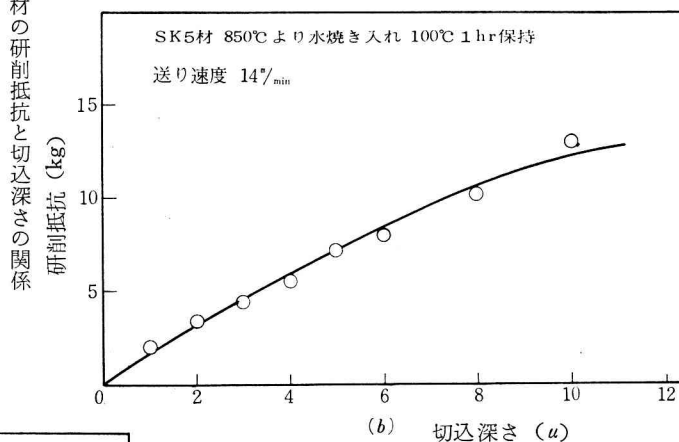
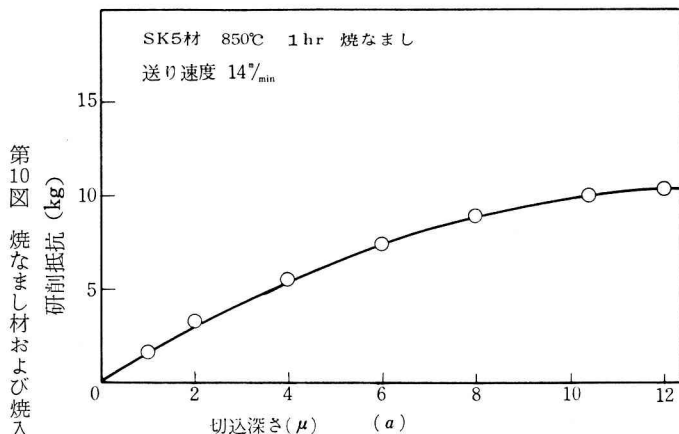
ものである。すなわち研削テーブルと平行に設置した板バネの上部に試験片を固定した。両面にストレイゲージ(K-22, 共和無線)を貼布した板バネを図のごとく取りつけ、研削の際生じるたわみをインク書きオシログラフに描かせる方法を採用した。実験に先立ち任意の荷重下における較正曲線を求めた。第8図は1例であるが、歪計の読みと静荷重との間にはきわめて良い直線関係が存在することが認められる。実際研削の場合には、切込量を1~2 μ ずつ増加せしめて各々の場合に得られる歪計の読みに対応するインク書きオシログラフ上の変位を求め、上述の較正曲線を用いて抵抗値を決定した。

II) 実験結果

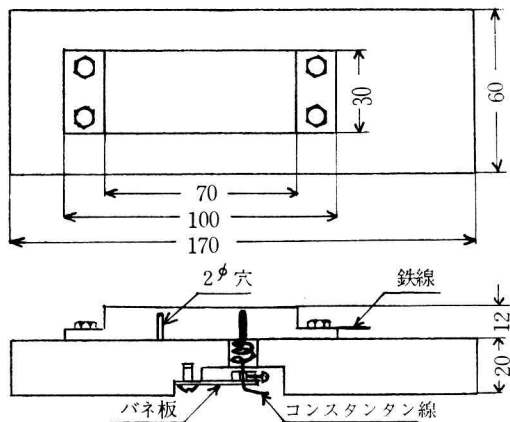
第9図はインク書きオシログラフ曲線の1例を示したものである。すなわち切込量を逐次増加すると、試験片に取りつけた板ばねのたわみが増加し、図のごとく増巾して記録される。第10図(a)は焼きなまし材に対し、テーブル速度を14m/min一定にて切込量を増加せしめた場合に得られる研削抵抗の変化を示したものである。切込量の増加に伴ない抵抗値も増加しているのが認められる。また第10図(b)は850°Cより水



第9図 インク書きオシログラフ曲線



第8図 研削抵抗測定のための較正曲線 静荷重値 (kg)

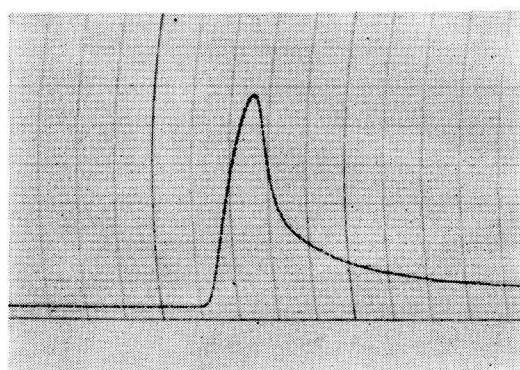
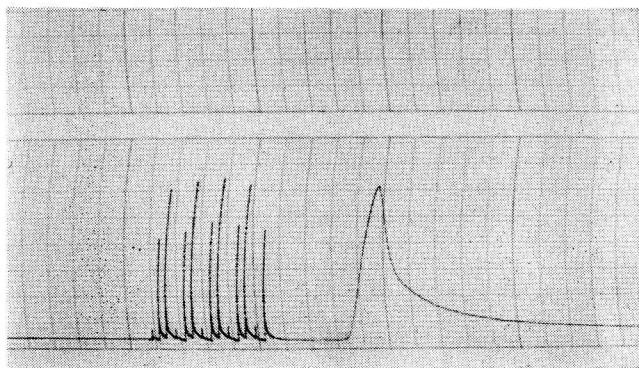


第11図 研削温度測定用治具

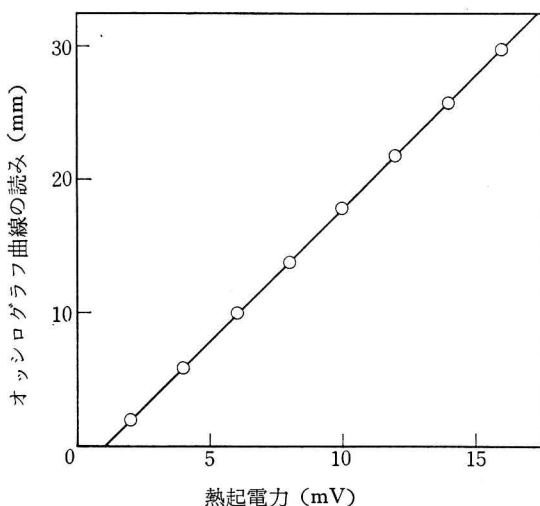
焼き入れをしたのち、 100°C に保持した試験片に対して同様の実験を行なった結果を示したものである。焼きなまし材の場合と同様の傾向を示すことが認められる。

III) 研削温度の測定方法⁽¹¹⁾

研削温度の測定には、工作物とコンスタンタン線を1組の熱電対として用い、急激な温度変化を瞬間的な熱起電力の変化として測定する方法を採用した。第11図に研削温度測定治具の概要を示す。すなわち直径1mmのコンスタンタン線の接触部を工作物と密着せしめ、先端は熱容量を少なくするためにできるだけとがらせた。熱起電力の変化は零接点を介し、更に二段に増巾されてインク書きオシログラフに記録される。この一鉄場合コンスタンタン線の熱起電力特性を調べるために、あらかじめ融点の知られている純金属を用い、温度とオシログラフに記録される値との較正曲線を求め、実際研削中の温度はこの較正曲線を用



第13図 温度測定に用いたオシログラフ曲線



第12図 研削温度測定用較正曲線

いて測定した。第12図に較正曲線の1例を示す。

IV) 実験結果

第13図(a)は インク書きオシログラフに描かせた温度曲線の1例であって、連続して切込みを与えた場合の

温度変化の状態を示したものである。切込回数が増すと最高温度も次第に高くなって行くが、これは研削回数が増加すると試験片とコンスタンタン線の接触部が次第に表面に近づいて来るためである。また(b)は 紙送り速度を早めた場合の波形の1例を示したものである。各々の波形のピークは試験片上の任意の点における最高温度を示すものである。

第14図(a)は 焼きなまし材 SK5 材を研削した場合の温度変化を切込深さとの関係で示したものである。すなわち試験片表面からコンスタンタン線の接触部に至る距離と切込回数および切込量の関係を求め、各々の場合の最高温度との関係で示したものである。焼きなまし材の場合、研削面の温度はほぼ 900°C に達していることがわかる。また第14図(b)は、焼入材に対して同様の表示を行なったものである。焼きなまし材の場合と同様、研削面ではきわめて高い温度に達していることがわかる。

(4) 組織観察および硬度の測定

以上述べて来た実験結果より、研削加工面および内部の組織変化と密接に関係しているように考えられる。す

なわち研削加工にもとづく加工変質層、あるいは発熱にもとづく変質層を形成していることが考えられるため、本研究に関連して焼入材の断面の組織観察を行なった。

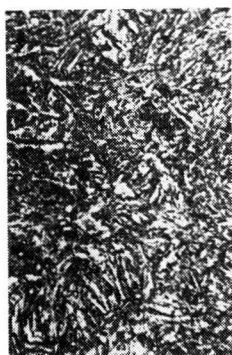
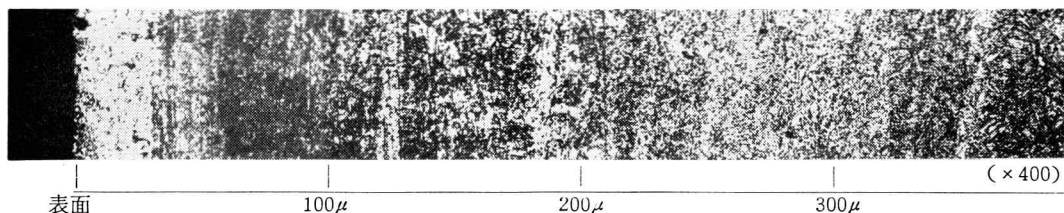
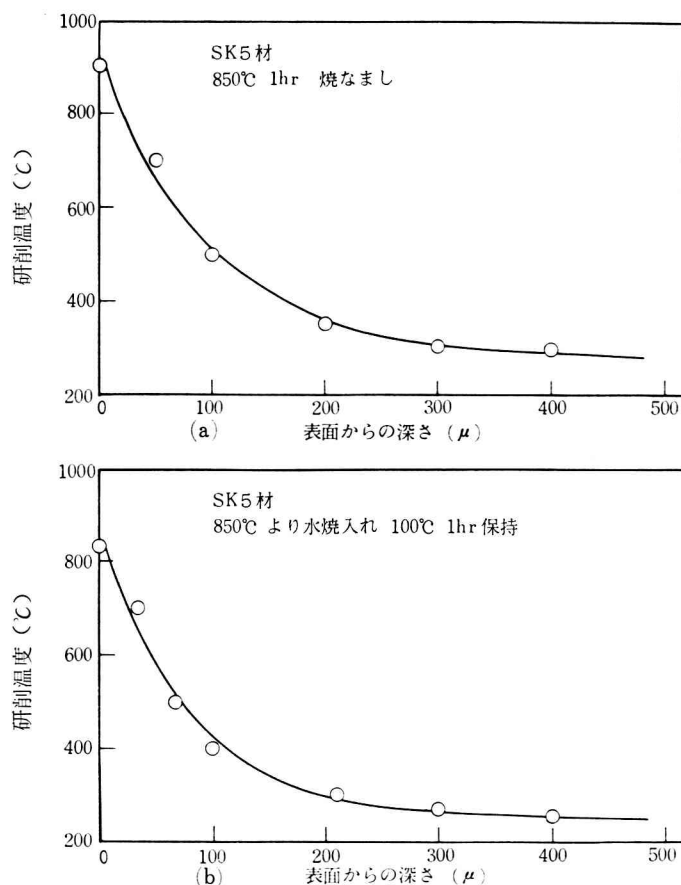
使用した顕微鏡は、オリンパス万能金属顕微鏡 PMF である。また焼なまし材および焼入材を研削したのち、断面の硬度分布を島津微小硬度計を用い、圧下荷重 300g で測定した。

写真 4 (a) は、850°C 水中焼入、100°C 1 時間保持を行なった試験片について、100 μ 1 回研削を行なった場合の断面組織写真を示したものである。表面層近傍は内部のマルテンサイト組織に比してかなり変化しているのがわかる。

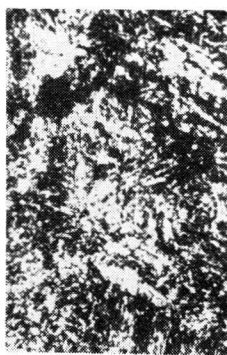
写真 4 (b)~(d) は、(a) と比較するために、100°C、250°C、および 400°C で各々 1 時間焼戻した試料の組織写真を示した。

第 15 図(a) は焼なまし材について切込量 15 μ で乾式研削を行なったのち、断面の硬度変化を測定した結果

第 14 図
研削温度測定結果



SK5 850°C 水中焼入 ($\times 1500$)
400°C 焼戻し



SK5 850°C 水中焼入 ($\times 1500$)
200°C 戻し
写真 4. 焼入材の組織観察



SK5 850°C ($\times 1500$)
水中焼入れ

を示したものである。圧下荷重は100 grである。図に見るごとく表面は硬度が高く、内部に至り低下しているのが認められる。また第15図(b)は焼入材に対して同様の実験を行なった結果を示したものである。この場合、内部に対して表面層が硬度が低下しているのが認められる。

(5)総括

以上述べて来た実験結果にもとずき考えられる2, 3の問題点を結論と共に総括して述べることにする。

I) 焼きなまし材の残留応力

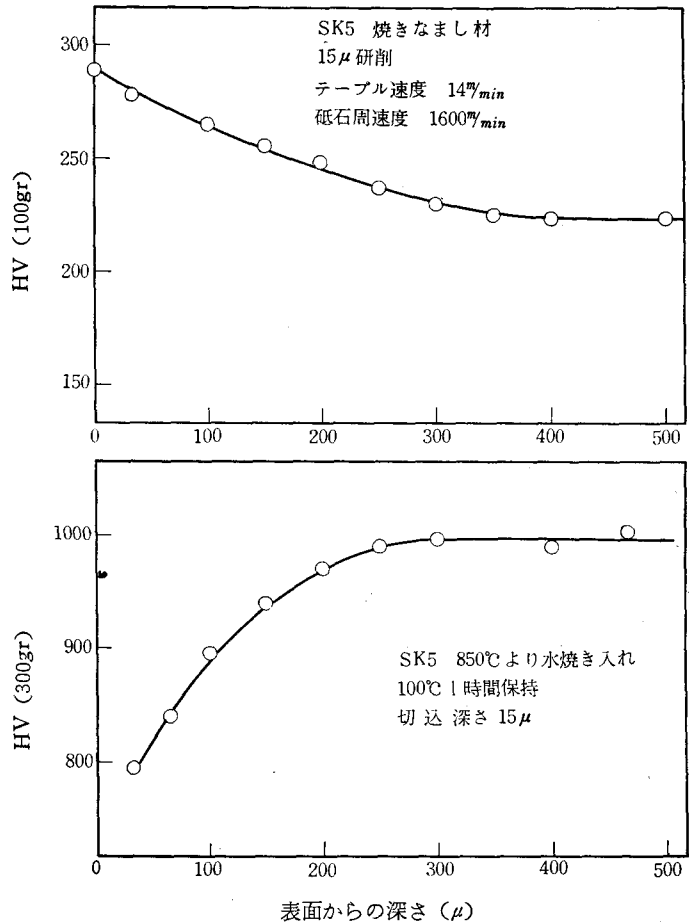
第5図に示したように、焼きなまし材を研削した場合表面には圧縮残留応力を生ずる。このような現象に関してはこれまで2, 3の報告があり、砥粒の切削作用により研削面には加工変質層を生じ、このときに発生する熱的影響により表面に圧縮の残留応力を生ずると考えられているようである⁽¹²⁾。本実験に関連して行なった硬度分布の測定結果とまとめて示したのが第16図である。すなわち研削加工に伴ない工作物の表面はきわめて高い温度に達する。この場合の研削温度は変態を生ぜしめるのに十分な高温であって、表面部は焼き入られた状態になるものと考えられる。また同時に砥粒の切削作用により、表面では引張塑性歪を生じ、上記両者が重畳して圧縮の残留応力を発生するものと考えられる。

II) 焼き入れ材の残留応力

第6図に見るように焼入したのち、低温で保持した試験片に研削加工をほどこした場合には、表面にきわめて大きな引張残留応力を生ずる。さきに示した温度測定の結果を見ると分かるように表面ではきわめて高い温度に達しているため、焼入材の場合は研削後表面層近傍がかなり焼戻し作用を受けることが考えられる。写真4に示した焼入材の断面組織写真を見るとわかるように、表面層は研削にもとずく加工変質層を呈しているが、せいぜい300 μ 程度までは、内部のマルテンサイト組織に比してかなり焼戻されていることが認められる。また同様に硬度分布の測定結果を見ると、表面部ではいちじるしい硬

第15図

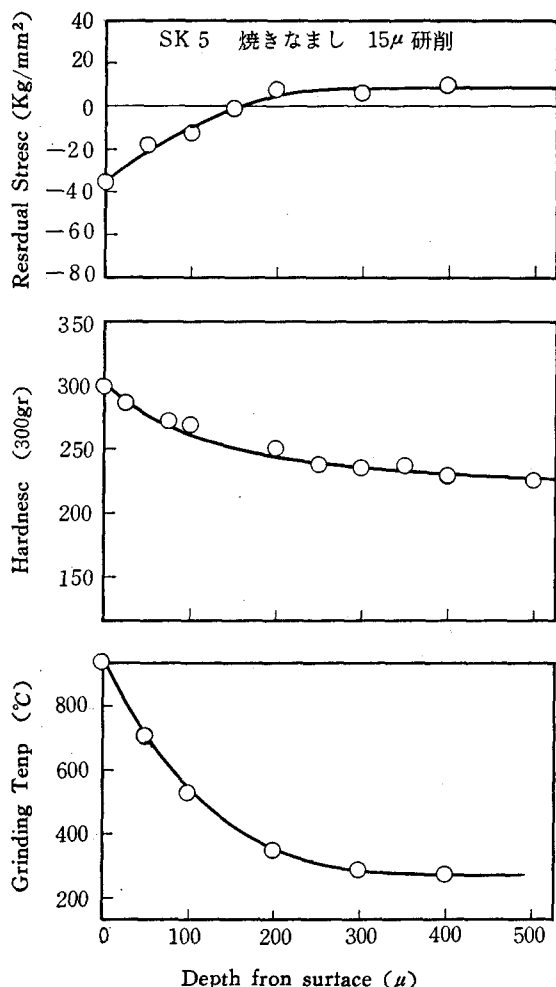
焼きなまし材および焼入材の硬度変化



度減少が認められる。したがって第17図に示すように、焼入材では、研削作用により表面がきわめて高い温度に達するため、表層部が焼戻される。この場合焼戻し温度の相違にもとずき組織変化を生じ、それぞれの組織の相対的な膨張、収縮により、表面部は圧縮の塑性歪を生ずることになることが考えられる。したがって表面部は引張残留応力の状態となり、この残留応力が焼入材の引張り強さよりも大となった場合、表面に研削割れを生ぜしめるものと考えられる。

また研削抵抗の測定結果を見ると分かるように研削割れを生ぜしめるような条件で研削を行なった場合においても抵抗値は比較的少ない。したがって研削抵抗は直接研削割れに影響するのではなく、主として研削材表面の発熱に寄与するものであって、発熱作用が割れその他の損傷を誘起するものであると考えられる。⁽¹³⁾

以上研削加工にもとずき発生する残留応力と研削割れとの関係について若干の考察を加えて来たのであるが研削割れの発生を防止するためには、研削加工時の発熱をできるだけ抑制すること、およびあらかじめできるだけ



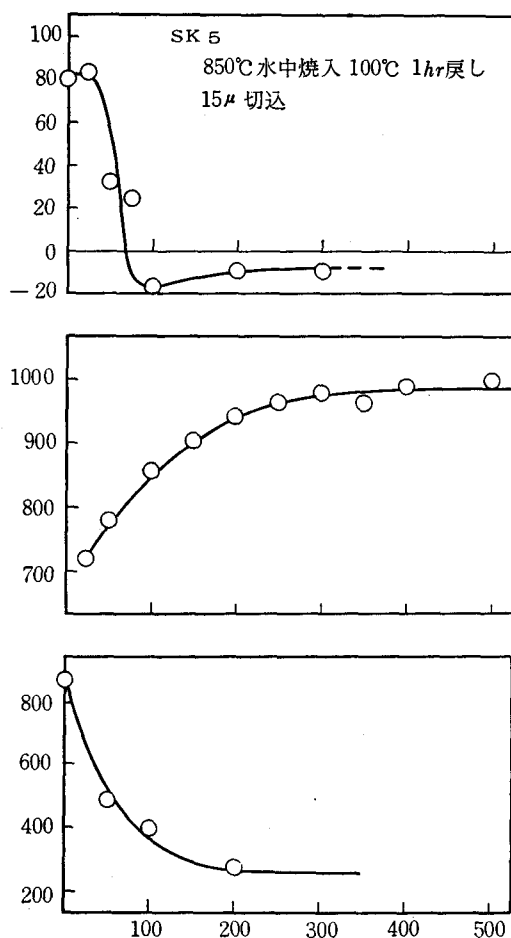
第16図 焼きなまし材の残留応力・硬度・研削温度の関係

高い温度で焼戻しておくことが必要であると考えられる。

更に、研削加工にもとずき発生する残留応力と研削割れの関係については、研削加工に伴う材質変化、すなわち加工変質層の本質と密接に結びつくものと考えられ、この点について尙詳細な研究を行なう必要がある。

参 考 文 献

- 1) D.P. Koistinen, R.E Marburger, Trans. ASM. 15. 537 (1959)
- 2) H.R. Retmer H.J. Snyder Trans ASME 75.5.



第17図 焼入材の残留応力・硬度・研削温度の関係

873 (1953)

- 3) 古元, 沖井 日本金属学会誌25.6 365~369 (昭36)
- 4) W.E. Littman J. Walff Trans ASM 47, 692 (1955)
- 5) 荒木田, マシナリー12月号 p1937 (1963)
- 6) 平, 有間日本機械学会第40期通常総会講演会前刷等 p89 (昭38)
- 7), 9) 平, 有間, 材料試験vol 11. No110 651 (1962)
- 8) 10) 平, 吉岡, 材料vol 13 No135 p949 (1964)
- 11) 高沢 砥粒加工研究会報 3-11 (昭34)
- 12) 佐藤 砥石および砥粒による加工 (昭31)
- 13) K.P. Tarason Trans. ASM 36 389 (1946)

X-RAY INVESTIGATION OF STRESS MEASUREMENT ON Cu-Zn ALLOYS

by Jyunichi ARIMA

1. Introduction

The stress measurement by X-ray is based on the variation of lattice spacings of metallic crystals due to stress. It has been noted as a unique method of non-destructive measurement of local stress (especially residual stress). Recently, the experimental procedure of X-ray stress measurement is applied in very wide fields of engineering studies in consequence of the development of X-ray equipments as well as the improvement in measuring method. The stress values obtained by the X-ray method have come to give sufficient reliability.

The stress measured by X-rays, however, depends on the local value of lattice strains due to heterogeneous deformation of metallic crystals. Consequently, it seems that the generation of these lattice strains is closely related to the deformation mechanism of metallic materials, which is extremely complicated, not yet being completely understood. In other words, the metallic materials are of various crystal structures, and so the mechanism of deformation differs with each metallic material. Moreover, the plastic deformation is usually accompanied by crystal anisotropy. It is likely that the above-mentioned phenomena have important influence upon the values of lattice strains measured by X-rays.

In two phase alloys such as carbon steel, brass and aluminum bronze, the plastic deformation is initiated primarily in the α -phase (matrix). These alloys contain, however, besides pearlite, as in the case of carbon steel, the β -phase that has different crystal structure and

high yield stress as compared with those of the matrix.

It has been reported that stress of opposite signs of phases, the so-called "Gefügespannungen," is present in these two phase alloys, which is considered to be due to the relative ratio of the two phases in the yield stresses coexisting in the alloys. From the standpoint of clarifying the strength of materials it is important to investigate how the second phase will affect the first phase during the deformation, and to measure the residual stresses and elastic constants of each phase.

In this connection, the authors carried out a series of experiments using several kinds of two phase alloys for industrial use in order to clarify the essentials of the above-mentioned mechanism of deformation.

In this paper, the results of the following experiments are reported. First, the elastic constants of annealed 7-3 brass and 6-4 brass were measured by using $\text{CoK}\alpha_1$ radiation, and they compared with those mechanically measured. Similar measurement was carried out on the plastically deformed specimens of the same material. Secondly, the residual stresses in α - and β -phases of the plastically deformed specimens were measured. In connection with the above measurement, the authors observed the microstructure using plastically deformed plate specimens of 6-4 brass.

2. Experimental Procedure

(1) Specimens

The specimens used in this experiment were

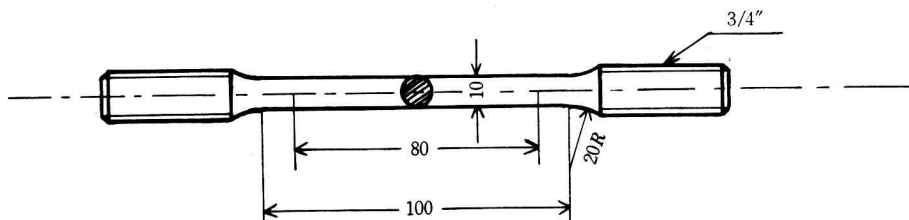


Fig. 1. Specimen

Materials	Yield Point (Kg/mm ²)	Tensile Strength (Kg/mm ²)	Elongation (%)
6-4 Brass	18.0	30.6	42.0
7-3 Brass	13.9	27.5	65.0

Materials	Chemical Composition (%)		
	Cu	Zn	Fe
6-4 Brass	60.07	39.89	0.40
7-3 Brass	64.87	35.09	0.04

Table 1. Chemical Compositions and Mechanical Properties of Materials.

round bars of 10 mm in dia. and 200 mm in length made of both 7-3 and 6-4 brass.

These finished specimens were annealed at 400°C for 1 hr in air under the condition of being embedded in brass tips for the purpose of preventing dezincisation on the specimen surface.

After the annealing, the specimen surfaces were electrically polished by using a solution of H_3PO_4 - CrO_3 system. The shape and dimensions of the specimens are shown in Fig. 1 and their chemical composition and mechanical properties at room temperature are listed in Table. 1.

(2) Loading Device

The authors designed and constructed a ten-

sile testing machine of horizontal type for this experiment. It was connected to an X-ray apparatus to subject the specimens plastically deformed to X-ray measurement. In this loading device the specimens are loaded through worm mechanism of the tensile testing machine, and the loads are read from the dial-gage of loup-dinamometer (max capacity of 3 tons). The elongations of the specimens under any applied stresses can be measured exactly from the amplified curves drawn on a self-balancing recorder of electronic tube type which are operated from two differential transformers attached on both sides of the specimens. The general view of this tensile testing machine is shown in photo 1.

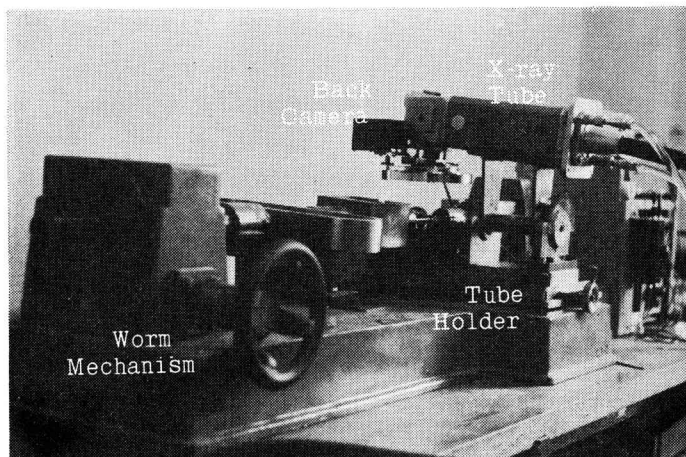


Photo.1. X-ray Apparatus and Loading Mechanism

(3) Measurement of Elastic Constants and Residual Stresses by X-Rays

The X-ray diffraction apparatus used in this experiment is of closed X-ray tube type, consisting of both back reflection camera and X-ray tube holder. The tube holder has a rotating mechanism for the purpose of changing the incident angle to the specimen surface. The position of the tube holder can also be adjusted in these

dimensional directions in order to being the center of rotation in line with the specimen surface in case of different dimensions of the specimens.

The X-ray used were $\text{CoK}\alpha_1$ beams, and the diffraction lines from (400) and (310) crystal planes which correspond to those of α - and β -phase respectively, were photographed in films by the back reflection method.

The X-ray beams were applied to the center of the specimen surface in vertical and oblique incidences of 10° , 20° and 25° , and the values of lattice spacings ($\text{cosec } \theta\psi$) were calculated from the measurement of radii of diffraction rings. The annealed silver powders were used as a reference material for accurate determination of the distance between the specimen and the film. For the measurement of the radii of diffraction rings, an automatic recording type microphotometer with Cds detector was used.

From the peaks of distribution curves, the values of lattice strains ($\text{cosec } \theta\psi$) were determined correctly. The test conditions of X-rays are summarized in Table 2. One example of diffraction patterns and microphotometer curves is shown respectively in photo 2.

Materials	7-3 Brass and 6-4 Brass
X-ray	$\text{CoK}\alpha$ α -phase (400) β -phase (310)
Filter	Fe foil
Standard material	Ag powder
X-ray condition	35 Kv and 15 mA
Film	Industrial 200 type Exposure 20 min.
Method of stress measurement	$\text{Sin}^2\psi$ method

Table 2. Test Conditions of X-rays.

The measurement of elastic constants by X-rays was carried out according to the method which had been fully explained in the previous papers. Several mechanical tensile stresses were given to the specimen, and at every stage of stress the straight line of slope expressing the

relation of lattice strain to $\text{sin}^2\psi$ was determined.

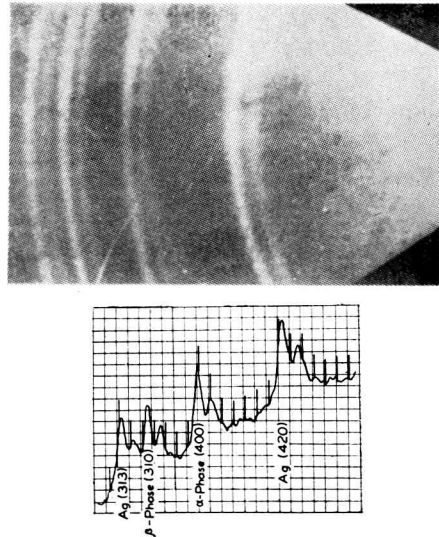


Photo. 2. One Example of Diffraction Patterns and Micro-Photometer Curves (by $\text{CoK}\alpha_1$ Beam)

Based on the results, $\partial\epsilon/\partial \text{sin}^2\psi$ versus stress was drawn. From the slopes of these curves, the elastic constant $1+\nu/E$ were calculated for each material. The applied stresses and residual stresses were determined by the $\text{sin}^2\psi$ method. The X-ray beams were applied to the center of the specimen surface in vertical and oblique incidences, and the values of $\text{cosec } \theta\psi$ were obtained from the measurement of radii of diffraction rings. Then the stresses were calculated from the elastic formula.

(4) Observation of Micro-Structure with Optical and Electron Micro-Scopes

In connection with the measurements of elastic constants and residual stresses, the authors observed the micro-structure of the plastically deformed plate specimen of 6-4 brass. Several plastic stretchings were given to the electro polished 6-4 brass, and at every stage of deformation, the appearance and growth of slip ba-

nds on the specimen surface were observed with an optical microscope under the magnification of 600 times. The boundary line between α - and β -phase was observed also by the two stage replica method with an electron microscope of 10 Å resolving power.

3. Experimental Results

Several tensile stresses were given to the specimens of 7-3 brass, and at every stage of stress the lattice spacing was calculated from the (400) diffraction lines obtained by $\text{CoK}\alpha_1$ beam.

ms. This test was carried out on the annealed as well as the plastically deformed specimens.

Fig. 2 shows the cosec $\theta\psi$ versus $\sin^2\psi$ relation plotted from the results obtained on the annealed and the plastically stretched (the strain of $\epsilon=1\%$ and 5%) specimens. As is apparent in the figure, a nearly exact linear relationship is seen to hold in every case. At the initial state of the annealed specimen, the stress free condition is clearly seen. On the other hand, the compressive residual stresses are seen to exist in the initial state of the plastically stretched

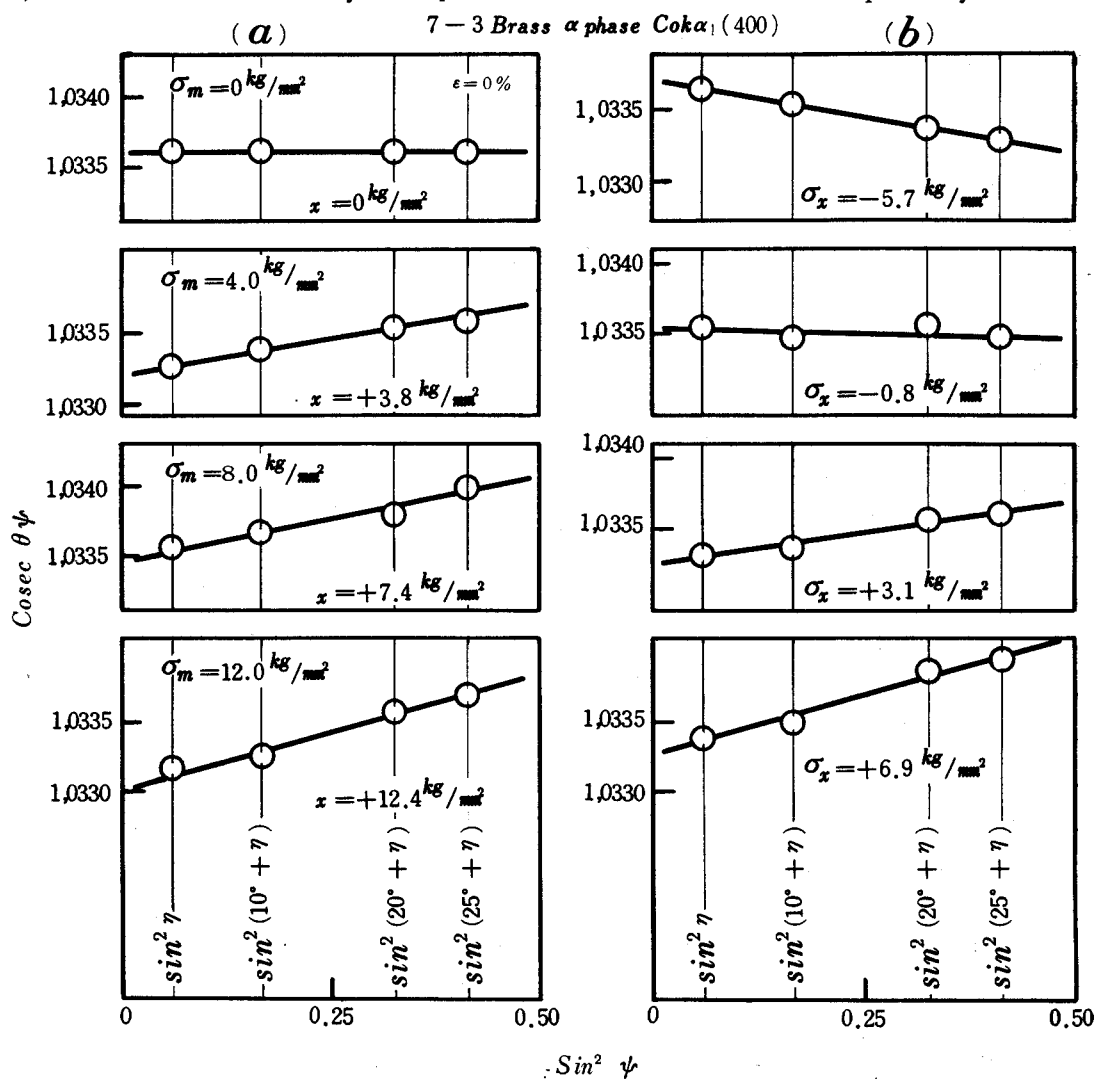


Fig. 2. Cosec $\theta\psi$ - $\sin^2\psi$ Relations for annealed and Extended 7-3 Brass, Mechanically stressed in the Range of 0 to 12 Kg/mm².

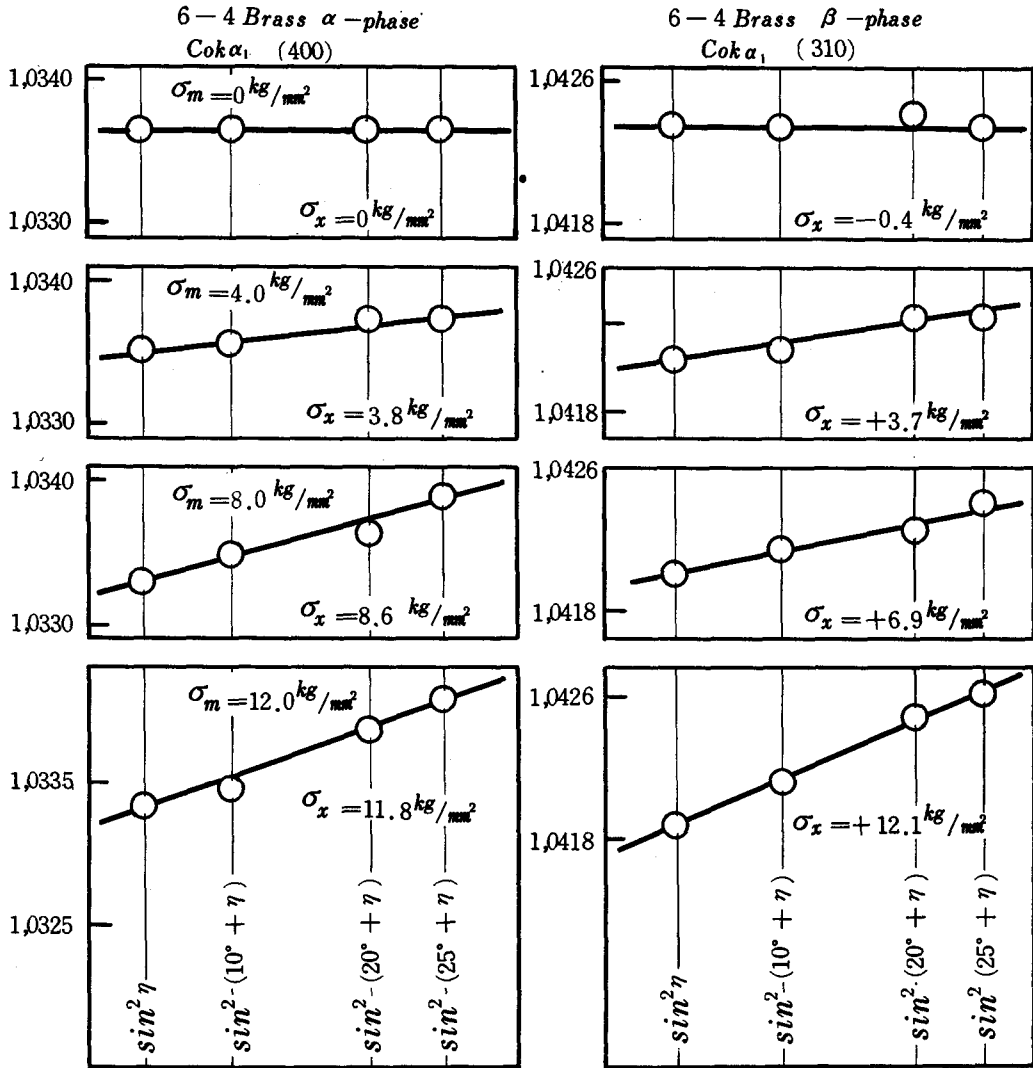


Fig. 3. $\text{Cosec } \theta\psi$ - $\sin^2\psi$ Relations for Annealed 6-4 Brass, Mechanically Stressed on the Range of 0 to 12 Kg/mm².

specimen, judging from the inclination of the linear relationships.

Figs 3 (a) and 4 (a) show similar results obtained from the α -phase of 6-4 brass. Fig. 3 (a) indicates the $\text{cosec } \theta\psi$ - $\sin^2\psi$ linear relation obtained from the (400) diffraction line for α -phase of the annealed specimen. In the case of also, an almost exact linear relationship is seen to hold. The slopes of these lines are larger in proportion to the increase in applied stress. Fig. 4 (a) show the results on the specimen that was given the plastic stretching of

1 %.

The elastic constant measured by the X-ray method was compared with those measured mechanically. As an example, Fig. 5 show the results obtained on the α -phase of annealed specimen of 6-4 brass. As is shown in Fig. 5, from the slopes of the lattice strain ($\text{cosec } \theta\psi$) versus $\sin^2\psi$ diagram for several applied stresses, $\partial\epsilon/\partial \sin^2\psi$ versus stress curve was drawn by using the method of least square. From these slopes the elastic constant $1+\nu/E$ were calculated for each material. The value obtained in

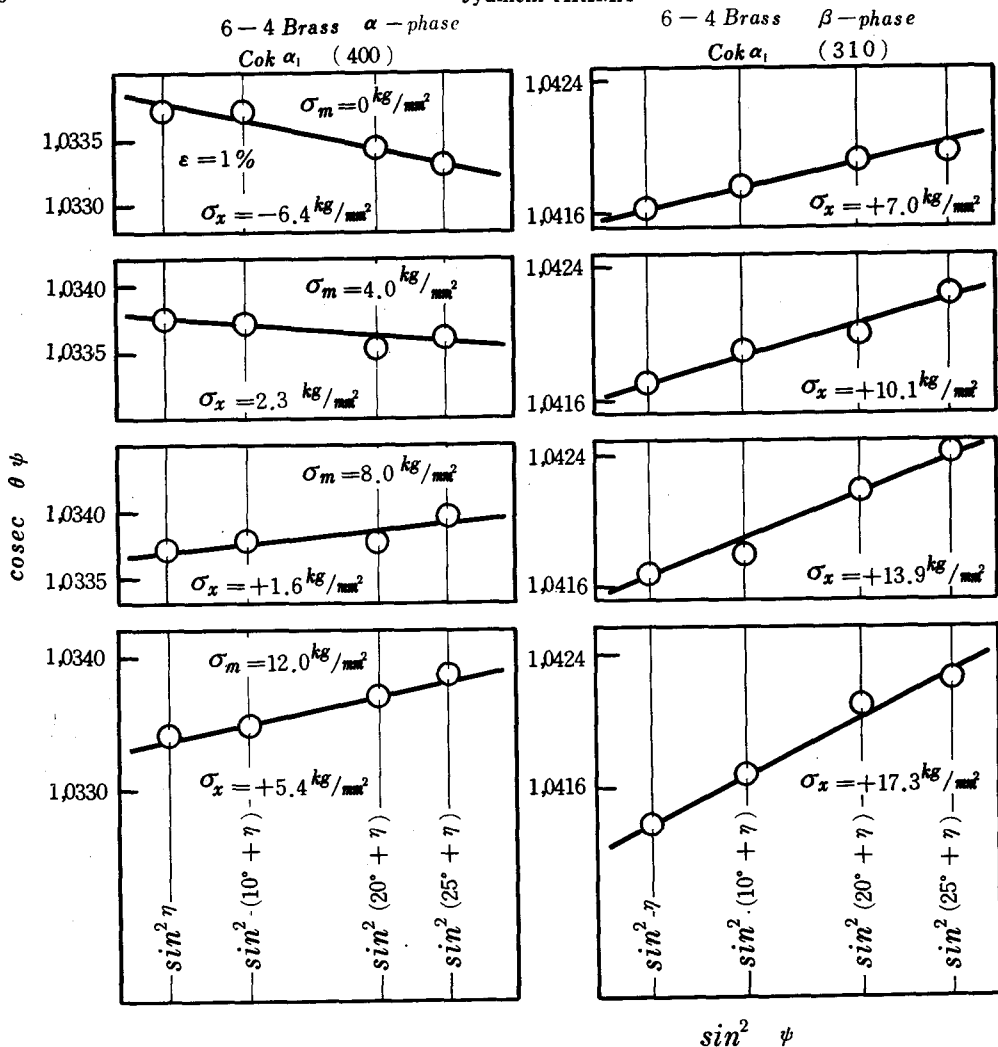


Fig. 4. Cosec $\theta\psi$ - $\sin^2\psi$ Relations for 1% Stretching 6-4 Brass, Mechanically Stressed on the Range of 0 to 12 Kg/mm².

this experiment was $1+\nu/E=1.51\pm0.10\times10^{-4}$ mm²/Kg. On the other hand, the mechanical

elastic constant E was measured by the horizontal type tensile testing machine and the differential transformer already mentioned.

An example of these results are shown in Fig. 6. However, for poisson's ratio the value of 0.35, conventionally used in the hand book was adopted. Similar experiments were carried out on the annealed specimen of 7-3 brass and another plastically deformed specimens of both brasses, and these are listed in Table 3. The error bands of

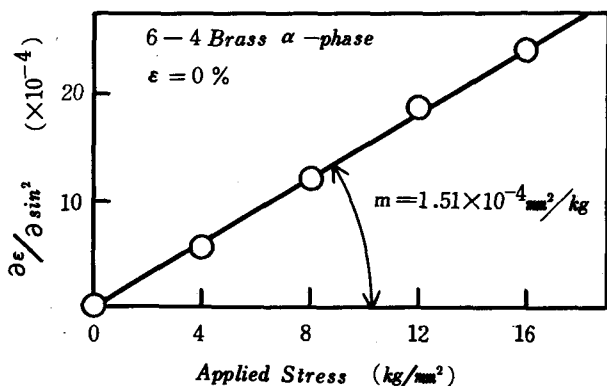
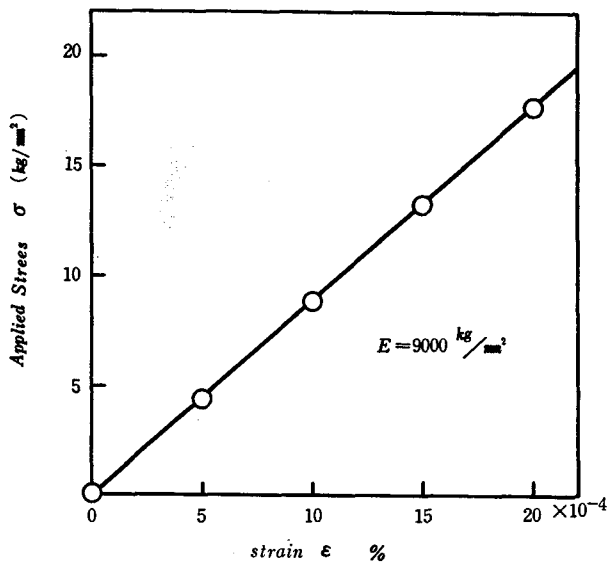


Fig. 5. $\partial\epsilon/\partial\sin^2\psi$ Versus Stress, Curve for annealed 6-4 Brass.



	$1 + \nu/E$ (mm ¹ /Kg $\times 10^{-4}$)
6-4 Brass α -phase $\epsilon=0\%$	1.51 ± 0.10
" $\epsilon=1\%$	1.52 ± 0.10
" $\epsilon=5\%$	1.51 ± 0.10
7-3 Brass α -phase $\epsilon=0\%$	1.51 ± 0.10
" $\epsilon=1\%$	1.51 ± 0.10
" $\epsilon=5\%$	1.51 ± 0.15
Mechanical Values	1.51 ± 0.15

Table 3. Elastic Constants for the α -Phase of 7-3 and 6-4 Brasses Measured by X-ray and Mechanical Method.

Fig. 6. An Example of Mechanically Measured Stress Strain Curve for Annealed 6-4 Brass.

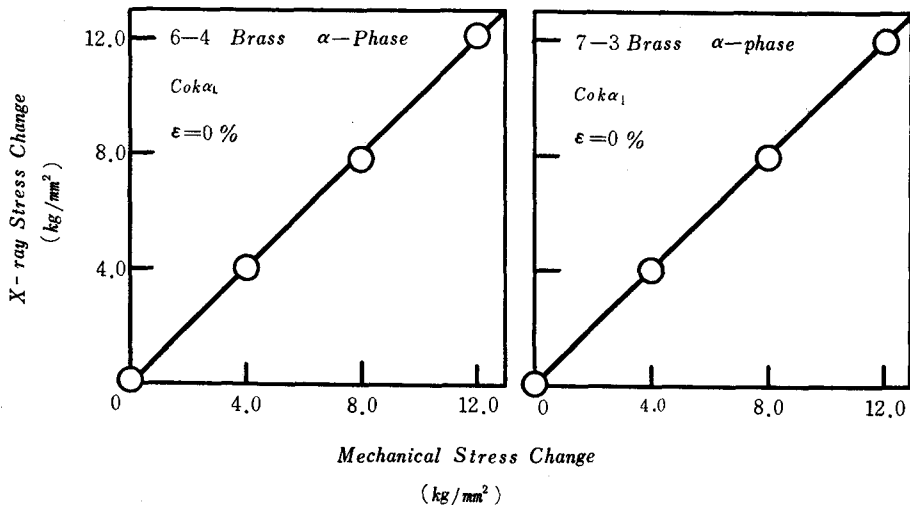


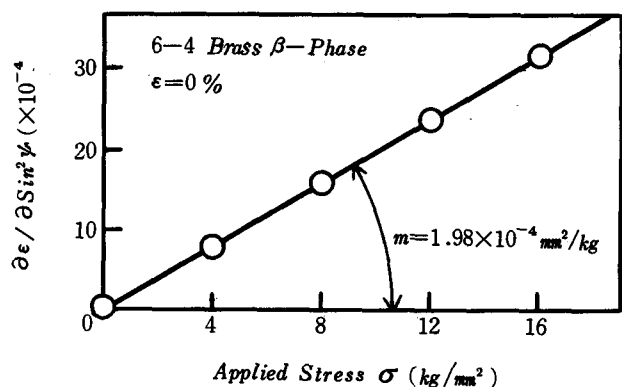
Fig. 7. Correlation X-ray to Mechanical Stress Measurement for Annealed and Stretched Specimens of 7-3 and 6-4 Brass.

measured values are also shown in the table. As is seen in the table, a fairly good agreement holds between the two values obtained by X-rays and mechanical means for both materials, irrespective of the plastic deformation given. It seems that the residual lattice strains have no influence on the values of elastic constants measured in the elastic range.

Based on the above experimental results, the correlation of X-ray stresses to the mechanically

induced sorts was examined. Fig. 7 shows this correspondence, in which X-ray stresses were taken as the measured values minus initial residual stress. In the figure, a good linear relation is found to hold.

Figs 3(b) and 4(b) indicate the cosec θ_4 - $\sin^2 \psi$ linear relation obtained from the (310) diffraction lines for β -phases of the annealed and 1% plastically stretched specimens. In this case also, almost exact linear relationship is seen



	$1 + \nu/E$ ($\text{mm}^2/\text{Kg} \times 10^{-4}$)
6-4 Brass β -phase $\epsilon = 0\%$	1.98 ± 0.10
" $\epsilon = 1\%$	1.98 ± 0.10
" $\epsilon = 5\%$	1.98 ± 0.16
Calculated Value by single crystals	2.28

Table 4. Elastic Constants by X-ray Method for the β -Phase of 6-4 Brass.

Fig. 8. $\partial\epsilon/\partial\sin^2\psi$ Versus Stress Relation for β -Phase of Annealed 6-4 Brass.

to hold. Fig. 8 and Table 4 show the results of elastic constants measured by X-rays on the β -phase of 6-4 brass. Fig. 8 show $\partial\epsilon/\partial\sin^2\psi$ versus stress curve for the annealed specimen.

In the case of value was $1 + \nu/E = 1.98 \pm 0.10 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Similar experiments were carried out on another plastically deformed specimens. The results are summarized in Table 4. In

the table a considerable discrepancy is seen between the X-ray and the mechanical value, the former being fairly smaller than the later. The residual stresses were measured on the surface of plastically stretching 6-4 brass specimens. Fig. 9 shows was given the results of the experiments on the specimens to which the plastic stretching was given respectively of 1% and 5%.

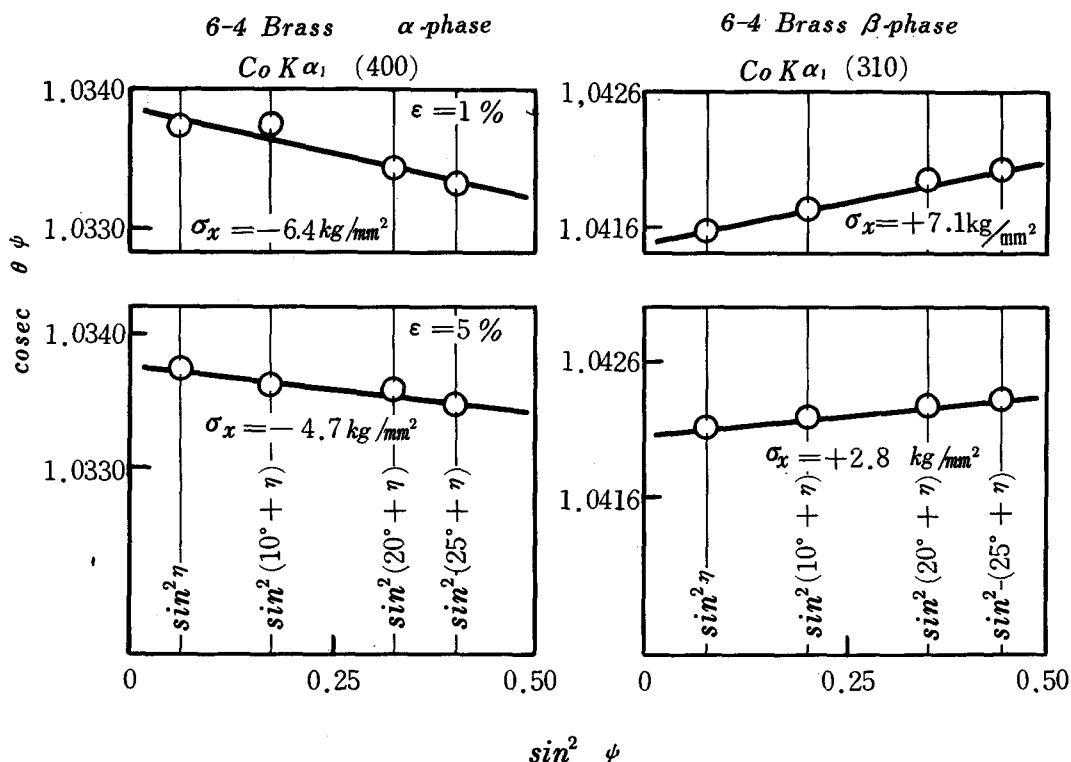
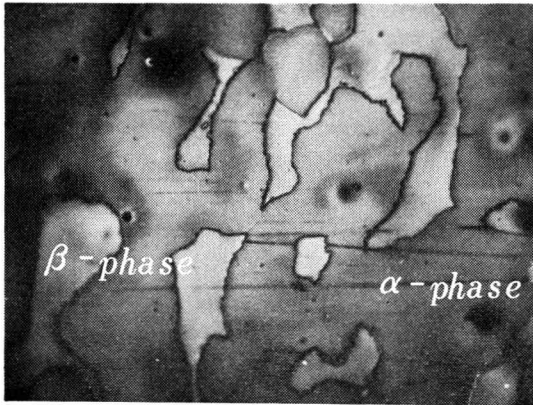
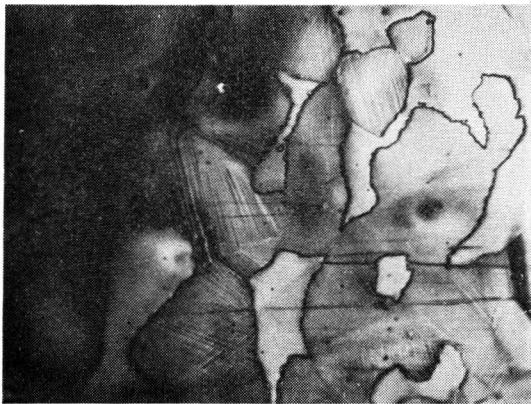
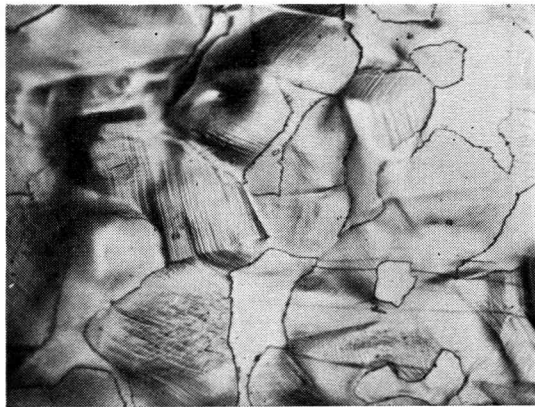


Fig. 9. Example of the Results for Residual Stress Measurement at the Surface of Annealed and Extended 6-4 Brass.

(a) after annealing ($\times 360$)(b) 1% stretching ($\times 360$)

(c) 5% stretching

Photo. 3. Microscopic Structures of Annealed and Stretched Specimen of 6-4 Brass.

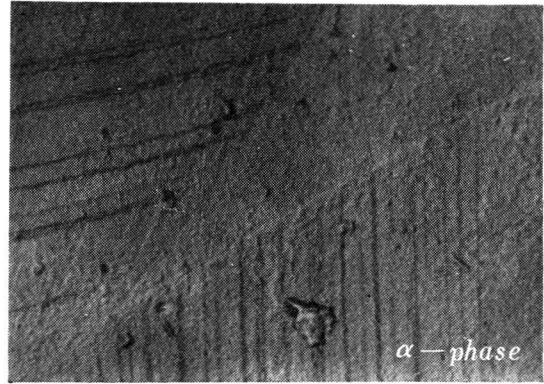
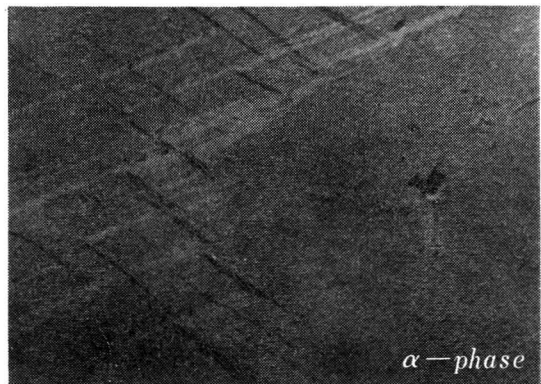
(a) 1% stretching ($\times 20000$)(b) 5% stretching ($\times 20000$)

Photo. 4. Electron Microscopic Structures of Annealed and Stretched Specimens of 6-4 Brass.

It is worthy of note that compressive residual stresses exist in α -phase, on the contrary, tensile residual stresses in β -phase in both cases of plastic deformation.

In connection with the above experiments, the authors made observation of micro-structure of plastically deformed 6-4 brass specimens. Some examples of the results are shown in photo 3. The test condition and the magnification are shown in the photographs. As is seen in the photographs, slip bands are observed only in the region of α -phase, which undergoes plastic deformation preferentially. Moreover, it is found that the slip bands show the tendency of enlargement, proportionately to the increase in plastic deformation. On the amount of plastic deformation is increased. The region near the boundary

between α - and β -phases was also observed by an electron microscope, and the results are shown in Photo. 4. In these photographs also, deformations are seen only in the domain of α -phase.

4. Summaries and Conclusions

The authors carried out, as mentioned above, the experiments of measuring the elastic constants of brass 7-3 and 6-4 as well as the residual stresses in α - and β -phases of plastically deformed 6-4 brass. From the results of the experiments the following summaries and conclusions may be drawn.

The elastic constants of α -phase were compared in brass both 7-3 and 6-4 as is seen in the Table 3, and their values in both cases are found in good agreement within negligible small errors, and show a good correspondence to those measured mechanically. Generally, the metallic materials for industrial use are of polycrystalline structure, and the average of lattice strains distributed inhomogeneously in polycrystalline materials is measured

by the X-ray method. In the case of brass 7-3 and 6-4 used in this experiment, it seems that α -phase is mainly associated with deformation. In both materials, β -phase is in a low volume ratio to α -phase. Therefore, the lattice strains in α -phase measured by the X-ray technique will be little influenced by the existence of β -phase, being included in the error bands of measurement. In consequence, the values of elastic constants of α -phase were in good agreement between the brass 7-3 and 6-4. The above experimental results correspond fairly well with those obtained previously by the authors on various carbon steels. Consequently, in two phase alloys such as brass the elastic constants obtained by measuring the lattice strains in α -phase seem to give good correspondence to mechanical sorts.

On the other hand, as is seen in Fig. 8 and Table 4, for β -phase of 6-4 brass the values of elastic constants obtained by the X-ray method show a little discrepancy to the mechanical values. In these materials, crystal structure and yield stress of β -phase differ from those of the matrix. Moreover different lattice plane is to be

measured by X-rays. All these conditions, with different lattice strains in phases α and β , have come to make different elastic constants be shown.

As to polycrystalline materials, Voigt and Reuss propose the method of X-ray measurement of elastic constants based on that of a single crystal. The values of both α - and β -phases have been calculated according to the Reuss formula by investigators in general. However, the Reuss formula is based theoretically on the assumption that stresses are uniformly distributed over all crystals. On this assumption the stresses are measured dependent on the average values of local strains,

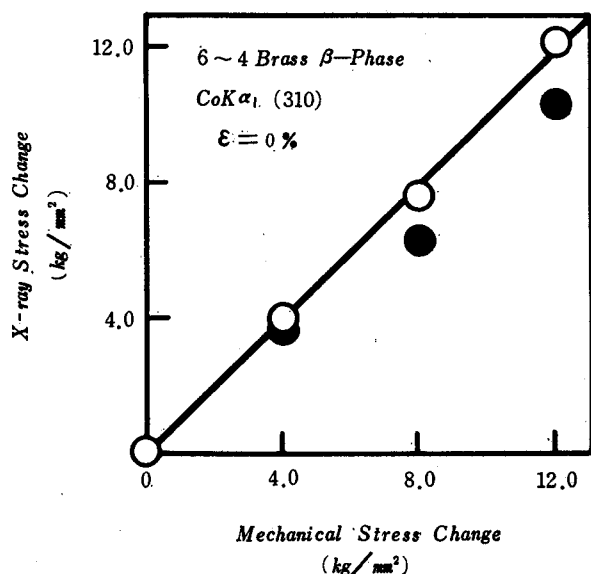


Fig. 10. Correlation on X-ray to Mechanical Stress Measurement for Annealed and Stretched Specs of 6-4 Brass.

while the latter are distributed practically heterogeneously in polycrystalline material. It is required for the X-ray stress measurement therefore, that the values of elastic constants obtained based on the strains in polycrystalline materials will be used. Fig. 10 shows the correlation of mechanically induced stresses to the stresses obtained by using the elastic constants measured in this experiment and those obtained from the elastic constants calculated according to the Reuss formula. As is seen in the figure, the former is in fairly good agreement with the mechanically induced stresses, while the latter shows a little divergence, being about 15% smaller than the mechanical value.

On the surface of the plastically deformed specimens of 6-4 brass compressive and tensile residual stresses, were found to exist in α -phase and β -phase, respectively. On the other hand, by observing the specimen surface, the authors noticed the appearance of plastic deformation (slip bands.) only in α -phase. It seems that this phenomenon is due to the difference in the strength and yield stress of both phases. In these metallic materials, the generation of residual stresses may be considered as follows. On removing the load after some plastic stretching was given to the specimen, α -phase crystals will remain as deformed. On the other hand, β -phase crystals may be unable to recover the initial elastic state

due to the constraint from plastically deformed α -phase crystals. Consequently, it is thought that compressive residual stresses are generated in α -phase, and tensile residual stresses in β -phase crystals for counterbalance. The authors are confident that the above-mentioned phenomena are possible of exposition in the near future.

It is considered that the experimental results and various phenomena as above-mentioned are the characteristic properties of two phase alloys. The authors have it in view to investigate these problems further.

References

- 1) S. Taira and J. Arima: J.JSTM, 11, 651 (1962)
- 2) S. Taira and J. Arima: Bull. JSME, 7, 1 (1964)
- 3) S. Taira and J. Arima: Proc. 6th Jap. Cong. Test. Mat., 158 (1963)
- 4) V. Hauk: Archiv. Eisenhüttenw., 25, 254 (1954)
- 5) S. Karashima, K. Shimatani and H. Hitotsuyanagi: J. JSMS 12, 848 (1963)
- 6) E. Macherauch and P. Müller: Archiv Eisenhüttenw., 29, 257 (1958)
- 7) S. Taira, J. Arima and K. Shiroyama: J. JSMS, 12, 865 (1963)
- 8) V. Hauk; Preprint of 4th Inter. Conf. of N.D. T.p. 226 (1963)
- 9) G.B. Greenough: Prog. Met. phys., 3, 176 (1952)
- 10) E. Macherauch and P. Müller: Z. Metallkunde, 51, 514 (1963)

類似性を応用した効果的物理教育¹⁾

伊 藤 信 隆²⁾

An Approach to the Study of Physics.

-Similarity in Sciences-

Nobutaka ITO

物理には、いろいろの分野があり、取り扱われる問題の種類も多い。しかし、一見非常にかけ離れた分野の問題においてその一般的な形式基本的な考え方現象のふるまい等に著しい“類推”(similarity)を見出すことができる。この点に着目すれば、日常経験からかけ離れた現象も、ふだん見馴れていてその取り扱いになれた常識を生かし“類似”(analogy)によってわかりやすくし、見透しをつけることができる。また完成している理論の直観的なモデルを考案するのにも役立つ、さらに類推の重要さは、発見的な方法をもたらし働きがあるという点にあると思う³⁾。高橋・藤村⁴⁾らは、回路論や情報理論における特徴的な考え方——ブラックボックス——を用いて、幅広い物理現象の類似性をしらべ、すぐれた論文を発表している。筆者は、この論文を参照し、筆者のアイデアを加え、未完成ではあるが、一つの“類表”(analogy table)を作ってみた。

物理現象のいろんな“類似性”をしらべ、これを物理教育に生かそうということは、今更取り上げるまでもなく、多くの教師によって実際の授業で行なわれていることである。電気の初歩の学習に、水の流れの類推から出発したり、LC回路をバネ振子と比較したり、光の反射における位相のズレを力学モデルを用いて教えたりしていることなどである。われわれが習慣として用いているアナログやモデルも、これを整理し、一つの“類表”としてまとめてみれば、今まで、はっきりと意識していなかった、思わぬ指指法を思いついたり、モデルを考案したりすることができると思う⁵⁾。

§ 1. ブラックボックス⁶⁾の考え

よくみかける自動販売器は、ブラックボックスの一例である。これに銅貨を入れると乗車券やジュースが出てくる。この場合、銅貨を入れるという単純な原因(cause)によって、ジュースが出るという結果(effect)を生じる。このように、ある系に何らかの形で外から“働きか

け”があり、これが系に変化を起こす原因となっており、その結果が外に現われるとき、系をブラックボックスとして取り扱う。系は、電氣的、光学的、力学的、熱的、生化学的、等、何でもよい。一般に、物理学においては、系に何らかの“働きかけ”(原因)をし、その系の“反応”(結果)をとらえて、系、すなわち、ブラックボックスの性格をきめる。

$$\frac{\text{原因}}{\text{結果}} = \text{ブラックボックスの性格} \quad (1)$$

例えば、バネに力を加えると、バネは伸びる。このとき、バネ(ブラックボックス)に働きかける物理量が力⁷⁾(原因)であり、バネの反応は伸び(結果)である。われわれは、原因とその結果との比として、バネの性格をきめることができる。このバネの性格(弾性)を示すのが、フックの定数である。一般にブラックボックスは一種のトランスジューサーであり、それは原因に“**確定した拘束**”⁸⁾をつけ加えて結果をもたらしともみられる。この因果関係が自然法則といえる⁹⁾。バネのフックの法則もこのような因果律に他ならない。以上は単純な原因結果についてしらべたが、一般の物理現象では、多くの原因が複雑に重なりあいつつ、結果がまた原因となりさらにその結果を生むということを繰返している。例えば天体の運動などがそれである。しかし、このような場合でも、最初の原因と最後の結果に着目すればよい。以上、バネについての回路論的な見方は、実はもっと幅広い“**静的**”な物理現象、例えば、静力学、熱力学、磁気学、化学熱力学、等を一つの“類”としてみることを教える¹⁰⁾。

§ 2. 静的な物理現象

ここで、2端子ブラックボックスの考え方と図式によって、静的な物理現象、とくに、原因と結果との間が線型な関係をもつ場合についてしらべよう¹¹⁾。(表1)。

熱現象における“温度”は、“熱”を外へ出そうとする

表 1.

力 (f)	→	バ ネ	→	変 位 (x)	(バネに力を加えると、バネは伸びる)
トルク (M)	→	ピ ア ノ 線	→	ネ ジ レ 角 (θ)	(ピアノ線にトルクを加えると、線はネジレる)
電 圧 (V)	→	コンデンサー	→	電 気 量 (q)	{コンデンサーに電圧を加えると、コンデンサーに電 気量が蓄えられる}
温 度 (T)	→	物 質	→	エントロピー (S)	(温度変化によって、物質のエントロピーが変わる)
圧 力 (P)	→	流 体	→	体 積 変 化 (Δv)	(流体に圧力を加えると、縮む)
電界強度 (E)	→	空 間	→	電 気 変 位 (D)	(空間に電界を加えると電気変位を生ずる)

傾向の強さを表わすともいえるもので、熱的つりあいや熱流の原因と考えられ、いかにも“力”に擬せられよう。一般に、このような“力らしい物理量”を **Intensive 量** (原因) という。トルク、電圧、圧力、電界強度やさらに化学熱力学における“逃散能”¹²⁾なども、この類例と考えられる。他方、“変位に擬せられる量”として、ネジレ角、電気量、エントロピー、体積、などが考えられよう。これを **Extensive 量** (結果) という。1) 式によれば、これら静的な物理現象の系の性格は **Intensive 量** と **Extensive 量** との比で与えられ、一般に、系の弾性的量となる。これを **Elastance** と呼ぶことにしよう。バ

$$\frac{\text{Intensive 量}}{\text{Extensive 量}} = \text{Elastance} \quad (2)$$

ネの場合 $\frac{f}{x} = K$ 、コンデンサーの場合 $\frac{V}{q} = C^{-1}$ がこの **Elastance** である。 K^{-1} 、(コンプライアンス) が C (電気容量) に対応する。 K^{-1} 、と C は、いずれも刺激の受入れに対するブラックボックスの寛容性¹³⁾ として同類である。電界の量としての“ E ”と“ D ”は、このいずれが **Intensive 量** であり、またいずれが **Extensive 量** であるかは、必ずしも明確でない。しかし電気変位という呼び方は、 D を **Extensive 量** としたい方であろう。この考え方によれば、 $E = e^{-1}$ 、 D の拘束関係は、バネのフック

クの法則に対比される。したがって、 e^{-1} は、弾性に擬せられる量である。静的な電界の電気力線のファラデーモデルに、いかにもバネ (またはゴム¹⁴⁾) 的な性質を与えるのは、このような基本式の類似にある。一般に、全く異なる物理現象が似ているということは、学習する点で、まことに幸運なことである。

§ 3. 準可逆的な物理現象

前章で“静的”でしかも線型な物理現象についてしらべたが、これに対して“動的”な問題が考えられる。動的な物理現象には、可逆的なものと、不可逆的なものがあるが、このうち、エネルギーの消耗のある力学系、電気回路 (オームの法則が支配する)、熱流などの、いわゆる“準可逆的”なもの一群は、一つの“類”として取扱うことができる。これを2端子のブラックボックスの図式で示そう。これらの系を扱うとき、系の **Extensive 量** は、“静的”な現象のときの **Extensive 量** の、時間に関する1階微分で与えられる (表2)。

よく知られたオームの法則、熱伝導の法則、パイプより液体が流出するときのボズアイユの定理、拡散におけるフィックの法則、あるいはストークスの法則等は、エネルギーや物質の輸送現象としての一つの類の法則であ

表 2.

力 (f)	→	ダ ン パ ー	→	速 度 (v)	(ダンパー ¹⁵⁾ の円板に力を加えると、円板は一定の速度で移動する)
トルク (M)	→	回 転 体	→	角 速 度 (ω)	(回転体にトルクを加えると、回転体は一定角速度で回転する)
電 圧 (V)	→	回 路	→	電 流 (i)	(回路に一定電圧を加えると、一定電流が流れる)
温 度 (T)	→	物 質	→	熱 流 ($\frac{dq}{dt}$)	(エントロピー流) (物質に温度差があれば、熱流が流れる)
圧 力 (P)	→	流 体	→	流 量 ($\frac{dQ}{dt}$)	(流管の両端に一定の圧力差があれば、一定の流量が流れる)

る。一般に、これら準可逆現象の系の性格量は¹⁶⁾,

$$\frac{\text{Intensive 量}}{\text{Extensive 量}} = \text{Impedance} \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 $\langle \rangle$ 記号は、時間についての1階微分を表わす。(例えば、電流は、電気量(Extensive量)の時間微分、 $\langle \text{Extensive量} \rangle$ である)。回路のインピーダンスは電圧と電流との比で与えられる。一般にインピーダンス(抵抗性)は、電気回路の用語であるが、準可逆現象の系の抵抗性を表わす一般用語として定義したのが(3)式である。初歩の電流現象の説明に水流モデルを用いるが、これは単にわかりやすいという以外に、オーム法則とポアズイユの法則との類似形式に、“モデル”としての深い意味がある。

§ 4. 物理の基本法則¹⁷⁾

ここでは動的な力学(保存系)、エネルギーの消費のない電磁気学、動的な電磁界や流体についての類似性をしらべる。すでに述べたように、法則とは、原因とその結果との間の拘束をあらわす。例えば、物体に力を働かせ、その応答として加速度(静的なExtensive量の2階微分)をとらえ、その間の拘束を表わしたものがニュートンの運動第2法則である(表3)

電流回路の法則がファラデー電磁誘導の法則である。

$$V = -L \frac{di}{dt}$$

質量 m が“運動物体の慣性の大小”を表わしたように、ここに現われたコイル定数 L は、“電流回路の慣性の大小”を示す。

ここで面白いことに気がつく、われわれは、ニュートン第2法則を、

“力のあるところ加速度あり”

と読んだ¹⁹⁾。この読み方からすれば、ファラデーの電磁誘導の法則の読み方は、

“電流変化のあるところ、逆起電力あり”

となり、読み方はニュートンの場合に比して主客が転倒されている。高橋・藤村²⁰⁾らによれば、この読み方を統一し、ニュートン流に読む方が自然だとしている。逆に、ニュートンの第2法則を、ファラデー流に現すれば、

質点が加速度運動をするとき、質点は、それと相互作用をする外部に、 $f = -m \frac{dv}{dt}$ の力を与える。

となる。この力は、“慣性力”と呼ばれているものに他ならない。この面白い類似性に着目し、力を \longleftrightarrow 電圧に対比²¹⁾し、速度を \longleftrightarrow 電流に対応させると、電流回路の

表 3.

力 (f)	→	おもり	→	加速度 (a)	拘束(ニュートンの第2法則)
トルク (M)	→	剛体	→	角加速度 (α)	拘束(回転運動の第2法則)
電圧 (V)	←	コイル	←	電流変化 (α)	拘束(ファラデーの電磁誘導則)
電界強度 (E)	→	空間	→	磁界変化	拘束(マクスウェルの法則)
圧力 (P)	→	流体	→	加速度流	拘束(オイラーの法則)

これらの図式における、系のIntensive量と、その《Extensive》¹⁸⁾量との間の拘束条件が物理の法則を表わしている。また系の性格量は慣性(Inertance)である。

$$\frac{\text{Intensive 量}}{\text{Extensive 量}} = \text{Inertance} \quad (4)$$

図式の基本法則の形式より、質量、慣性モーメント、インダクタンス、透磁率、密度、等が得られる。これら全く異なる物理量が、Inertanceとしての類似な役割に気づけば、一つの驚きである。ニュートンの第2法則は、 $f = m \frac{dv}{dt}$ で表わされる。この m は系(おもり)の“運動に対する慣性”をあらわすように、回転運動についても、 $M = I \frac{d\omega}{dt}$ の I が回転慣性を表わし、慣性モーメントと呼ばれる。このニュートンの第2法則と類似した、

“過度現象”なども直観的にわかりやすい力学モデルで説明できそうである。さて、さらに電磁界や流体についてしらべてみよう。力学における重要な物理量である“運動量”は、電流回路でいえば、どういう量に相当するだろうか？ 次の対応は、

$$P = mv \longleftrightarrow \phi = Li$$

すぐわかって。コイルを通る“磁力線数”は力学における運動量に相当する。この種のアナロジーをおしひろめ、流体と磁界とを対比すれば、“流管”の考え方と“磁力管”のそれとが似ていることを知る。流管について： $vS = v'S'$ 磁力管について； $HS = H'S'$ 、この両式の比較より、

$$H \longleftrightarrow v$$

磁界強度 H は、速度 v に対比させることができる²²⁾、また磁界について、磁束密度 B という重要な概念がある。これと磁界強度 H との間には、 $B = \mu H$ という関係が成り立つ。しかし B と H との物理的意味の相異は、なかなかわかりにくい²³⁾。われわれのアナロジーによれば、

$$P = m v \longleftrightarrow B = \mu H$$

となり、 B と H との区別は、ちょうど力学における運動量と速度とのちがいに相当する。運動量には、保存の法則が成り立ち、その点で速度より大切な量であるように、“磁束線”は、媒質に無関係なく保存されるが、“磁力線”は媒質によってその数が異なる。この点で B は重要である。いうまでもなく“透磁率 μ ”は“慣性”に擬せられる量であることは、もっともらしい。さてここで、電磁界の基本法則についてしらべてみる。すでに力学における運動法則と、電磁気学における電磁誘導則との間には、満足すべき類似性が存在した。しかし、場の方程式は、“ニュートン流”の形式 $E = \mu \frac{dH}{dt}$ 、 $P = \rho \frac{dv}{dt}$ にはならない。すなわち、電磁界のマクスウェルの方程式では、 E の代りに、回転ベクトル量が現われる。

$$E \longrightarrow \text{rot} E$$

他方流体の場合は、外力 $= 0$ のとき、

$$P \longrightarrow \text{grad} P$$

と、それぞれ置換して、マクスウェルの方程式やオイラーの方程式となる。このようにアナロジーは、いつもうまくいくとは限らない²⁴⁾。

§5. 保 存 量²⁵⁾

われわれは、“静的”な物理現象についての Intensive 量と Extensive 量との積（スカラー積）として、仕事やエネルギー量などの保存量がきめられる。

$$(\text{Intensive 量}) \cdot (\text{Extensive 量}) = \text{Work} \quad (5)$$

例えば、 $W = \text{力} \cdot \text{変位}$ 、 $W = \text{圧力} \cdot \text{体積}$ 、 $W = \text{電圧} \cdot \text{電気量}$ 、 $W = \text{電界強度} \cdot \text{電気変位}$ 、……である。これら異なる物理量の積が同一のデimensionになることに注意しよう。ここで熱的量でも $W = \text{温度} \cdot \text{エントロピー}$ 同一の形式になるが、この“老化したエネルギー²⁶⁾” $T \cdot S$ は仕事をしない²⁷⁾。一般にエネルギーと呼ばれる量は、自然現象を理解するのに最も基本的な概念であることはいうまでもない。結局、エネルギーは“保存量”であるということと、エネルギーについての変分原理が、自然法則の大切な形式になっている、という二点で重要である。しかし、この論文では、ブラック・ボックスの見方に重点を置いているから、エネルギーについては、美しい類似表（表4）の展示にとどめよう。

$$\text{すなわち} \quad K \longleftrightarrow C^{-1} \longleftrightarrow \tau \longleftrightarrow \epsilon^{-1}$$

表 4.

力 学 (直線運動系)	バネのポテンシャル・エネルギー $U = \frac{1}{2} K x^2$	おもりの運動のエネルギー $E = \frac{1}{2} m v^2$
力 学 (回転運動系)	ピアノ線のネジレのエネルギー $U = \frac{1}{2} \tau \theta^2$	回転体の回転エネルギー $E = \frac{1}{2} I \omega^2$
電 流 回 路	コンデンサーの静電エネルギー $U = \frac{1}{2} C^{-1} q^2$	コイルの磁気エネルギー $E = \frac{1}{2} L i^2$
電 磁 界	電界の（単位体積中の）エネルギー $U = \frac{1}{2} \epsilon^{-1} D^2$	磁界の（単位体積中の）エネルギー $E = \frac{1}{2} \mu H^2$

$$x \longleftrightarrow q \longleftrightarrow \theta \longleftrightarrow D$$

$$v \longleftrightarrow i \longleftrightarrow \omega \longleftrightarrow H^{28)}$$

$$m \longleftrightarrow L \longleftrightarrow I \longleftrightarrow \mu$$

の対応は見事である。さらに議論を進めよう。“動的系”の Inertance と <Extensive 量> との積も保存量（運動量や角運動、磁束密度）になる。

$$(\text{Inertance}) \cdot \langle \text{Extensive 量} \rangle = \text{Momentum} \quad (6)$$

“準可逆現象”は、これらの保存量の“輸送現象²⁹⁾”にはかからない。動的や準可逆的な物理現象の時間的なスケールは時定数で与えられる。

$$(i) \quad \frac{\text{Intensive 量}}{\langle \text{Extensive 量} \rangle} \times \frac{\text{Extensive 量}}{\text{Intensive 量}} = \text{Time Constant} \quad (7)$$

$$(ii) \quad \frac{\text{Intensive 量}}{\langle \text{Extensive 量} \rangle} \times \frac{\langle \text{Extensive 量} \rangle}{\text{Intensive 量}} = \text{Time Constant} \quad (8)$$

例えば、電流回路でいえば、(i) の形式が、 $\tau = RC$ であり、(ii) の形式が $\tau = \frac{L}{R}$ である。

ここまでくれば、いろいろな物理量に関する“類表”が作成される（表5）

〔注意〕 電気的量と、磁気的量との“対称性”

電気的量と磁気的量との“対称性”を保つためには、direct analogyでは、うまくいかない。このanalogyでは、 H を Extensive 量として扱うが、しかし、 $B = \mu H = \mu_0 H + (\mu - \mu_0) H$ と変形し、“磁化の強さ” $J = (\mu - \mu_0) H$ を導入し、 $J = \mu_0 x H$ ただし、 x は磁化率。かくて、 $J \longleftrightarrow P$ （電気分極） $H \longleftrightarrow E$ の対称性が保たれる。“ H ”は物質に磁化を引起す原因、すなわち磁化力、として Intensive 量となる。

表 5. ANALOGY TABLE(direct analogy)

系 量	mechanical		electro-magnetic		hydro- dynamic	thermal	chemical
	直線運動	回転運動	電流回路	電磁界			
Intensive	F (力) P (圧力)	M (トルク)	V (電圧)	E (電界強度)	P (圧力)	T (温度)	$\frac{\mu}{C}$ (逃散能) (濃度)?
Extensive	x (変位) V (体積)	θ (角度)	q (電荷)	D (電気変位)	v (積分流量)	S (エントロピー)	N (分子数)
<Extensive>	v (速度)	ω (角速度)	i (電流)	H (磁界強度) $\frac{dD}{dt}$ (変位電流)	v (流量)	エントロピー流	拡散流
«Extensive»	a (加速度)	α (角加速度)	$\frac{di}{dt}$ (加電流)	振動電磁界	加速度流	?	?
Inertance	m (質量)	I (慣性モーメント)	L (インダクタンス)	μ (透磁率)	ρ (密度)	?	?
Elastance	K (バネ定数)	τ (ネジレ定数)	C^{-1} (静電容量) ⁻¹	ϵ^{-1} (誘電率) ⁻¹	V (容積)	C (熱容量)	V (容積)
Impedance	R (抵抗係数)	R (抵抗係数)	$\frac{R}{Z}$ (オーム抵抗) (インピーダンス)	$\frac{E}{H}$ (インピーダンス)	R (抵抗係数)	R^{-1} (熱伝導率) ⁻¹	D^{-1} (拡散係数) ⁻¹
Potential	力学的 ポテンシャル	力学的 ポテンシャル	回路 ポテンシャル	電磁 ポテンシャル	速度 ポテンシャル	放熱定数 ポテンシャル	化学 ポテンシャル
Momentum	P (運動量)	Ω (角運動量)	ϕ (磁力線)	B (磁束密度)	D (流束密度)	?	?
Time constant	$\tau = \frac{R}{K}$ ($\tau = \frac{\Delta P}{f}$)	$\tau = \frac{R}{\tau}$ $\tau = \frac{I}{R}$ (τ^* ネジレ定数)	$\tau = RC$ $\tau = \frac{L}{R}$	$\tau = \frac{\Delta B}{\text{rot} E}$?	$\tau = \frac{\Delta D}{\text{grad} P}$?	$\tau = \frac{C}{G}$	$\tau = \frac{V}{D}$

このANALOGY TABLEは、未完成なものである。筆者は、この表に関心を持たれる方々によって批判訂正され少しでも“ほんもの”らしい表になることを切望する。

§ 6. 類表の応用例³⁰⁾(ElastanceとInertance)

いろいろな振動や波についての類似性をしらべてみる。まず“バネ振子”を持出そう。この振子の弾性(Elastance)は、“バネ”に集中し、質量(Inertance)は“おもり”に集中している。電流回路論的ない方をすれば、集中定数回路である。この振子の固有振動数 ν は、

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

となる(トムソン公式)。このバネ振子を弾性限界をこえて引き伸ばしてみれば、弦に移行するだろう。一般に

弦は、Elastance と Inertance とが弦全体に分布しているから、回路論でいう、分布定数回路に他ならない。弦は振動子であり、その基本振動数 ν は、もはやトムソン公式は成立しない。すなわち、

$$\nu = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad T: \text{張力}, \rho: \text{線密度}, l: \text{弦の長さ}$$

Analogy Table(類表)をよこに読めば、バネ振子は、いわば理想的にコンデンサーとコイルの部品によって表わせることがわかる。すなわち、LC回路は、バネ振子に対応する“集中定数回路”であり、バネ振動に対応す

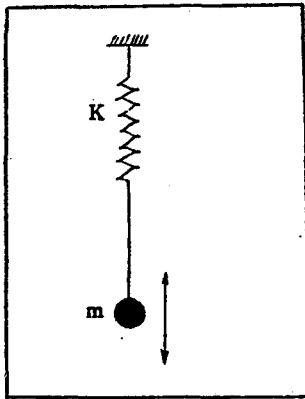


図 1

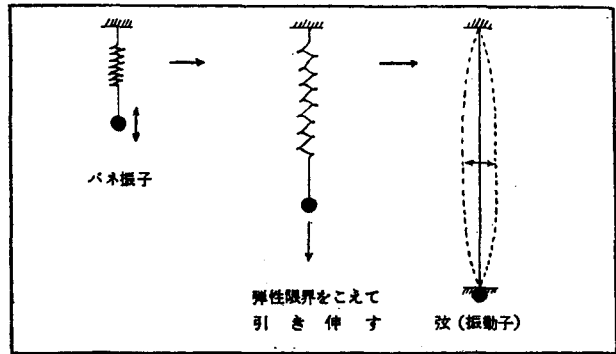


図 2

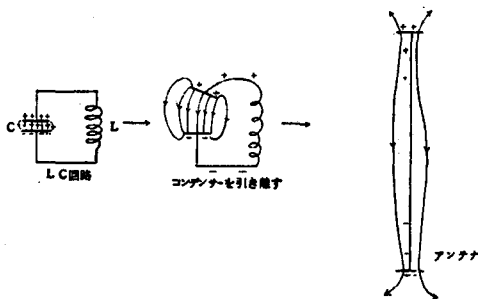
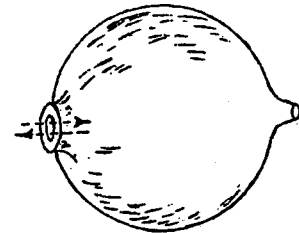


図 3



Helmholtz の共鳴器

図 4

る電気振動を起こす。この LC 回路を引き伸ばして、“分布定数路”へ移行させると、アンテナ回路（振動子）になる。ヘルツの振動子とは、まさにこのアンテナである。

LC 回路の固有振動数 $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C^{-1}}{L}}$ 、アンテナの基本振動数 $\nu' = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\epsilon_0^{-1}}{\mu_0}}$ は、それぞれ、バネ振子や弦の振動数公式に全く似る。一般に分布定数回路は“波のない手”となるもので、弦やアンテナの定常振動は、波の干渉による定常波の振動に他ならない。弦の振動から音波が発射されるように、アンテナの高周波の定常電流によって、電波が発射される。バネ振子や LC 回路と類似なものに“連通 U 字管”や“ヘルムホルツ共鳴器”がある。ヘルムホルツ共鳴器は、開口部分の気体が運動エネルギーをもち、内部の気体が弾性エネルギーをもつ集中定数の音響回路といえる。バネや LC 回路を引き伸ばせば、分布定数回路へ移行したように、ヘルムホルツ共鳴器を引き伸ばせば、いわゆるパイプになる。

“パイプ”は音響振動子（楽器）であり、ちょうど“アンテナ”に対比されよう。

また、バネ振子を非常に多く直列につなぎ合わせても分布定数回路になる³²⁾。右図のバネ振子の接続体に縦波

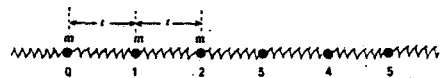


図 5

が伝わる場合を考えてみよう。バネの定数 K 、球の質量 m 、球の間隔 l 、バネの単位長さについての定数 k とすれば球“1”の振動数は、 $\nu = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{K}{m} \sin \frac{\pi l}{\lambda}}$ で与えられる。ただし、 λ は縦波の波長である。もし $\lambda \gg l$ のとき、 $\sin \frac{\pi l}{\lambda} \approx \frac{\pi l}{\lambda}$ とみなせるから。

$$\nu = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{K}{m} \cdot \frac{\pi l}{\lambda}} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Kl}{m/l}} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{k}{\rho}}$$

これは、分布定数回路の定常波の振動数をあらわす。かくて、集中定数回路の接続から分布定数回路へ移行するようすが、“式”の形式からうかがえよう。バネ振子の接続で $\lambda \gg l$ のときには、いちような線密度の弦とみなすことができ、その弦に波が $v = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$ の速さで伝わる。このような“類”のモデルとしてすぐれた“ウェーブマシン”³³⁾がある。このマシンを伝わる波の速さは $v = \sqrt{\frac{\tau}{I}}$ で与えられる。ただし τ 、 I は、それぞれマシンの単位長さについてのネジレの定数、と慣性モー

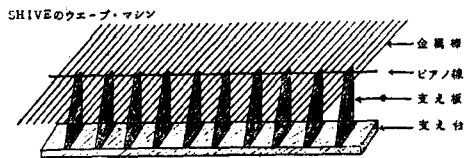


図 6

メントである。このマシンを電流回路に翻訳すれば、金属棒がコイルに相当し、ピアノ線がコンデンサーに相当する分布定数回路であることは明らかであろう³⁴⁾。すなわち、二本の電話線に例えられる。電流線はコイルを含まなくても、そのまわりに“磁界”を作るから明らかに“インダクタンス”をもち、従って、インダクタンスは電流線全体に分布する。また線間は、いちょうに分布した“キャパシタンス”をもち、従ってコンデンサーが入っていることになる。この線の単位長さについての、インダクタンスを L 、電気容量を C 、とすれば、電気波の速さ v は、 $v = \sqrt{\frac{1/C}{L}}$ ³⁵⁾ となる。弾性的な波の速さを与える式は、類表より、 $v = \sqrt{\frac{\text{単位の長さの Elastance}}{\text{単位の長さの Inertance}}}$ として全く同一の型式になっていることに注意したい。類表の thermal の項をよくみると、面白いことに気づく、すなわち熱の Inertance が存在するかということである。別な表現をすれば、

“熱の自由度での波動があるか？”³⁶⁾

ということになる。熱波動なんかあり得ないとするならば、液体 HeII の第 2 音波（温度波）

$$\frac{d^2 T}{dt^2} = \frac{\rho_s}{\rho_n} \frac{TS^2}{c_P} \frac{d^2 T}{dx^2}$$

をどう考えたらいいか？ ちょっと、面白い問題である³⁷⁾。

最後に、バネと質量は、フィルターとしての面白い働きをする点に注目しよう。自動車が走っているとき、その車が、はげしく上下振動をしても車内の人、ほとんど振動しない。すなわち、バネと質量とを“繰返し接続”³⁸⁾をすれば、あるきまった振動数以下の波を通しそれ以上の振動数の波は通さない。すなわち、ローパスフ

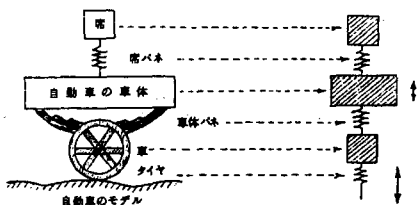


図 7

ィルター³⁹⁾の働きをする。この種の力学的平滑フィルターと類似な電気工学のローパスフィルターがある。これは、パルス状電流の平滑に用いられる。8 図“3 段階”のローパスフィルターである。音響系でいえば、ヘルムホルツ共鳴器を接続したものである。音響フィルターは実際に、自動車やオートバイの“消音器”として利用されている。われわれは、もっと身近かなところに、フィルター回路を見出せる、水流ポンプがその例である。9 図は“段階の気体フィルター付ポンプを示した。以上、

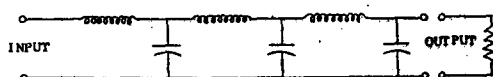


図 8

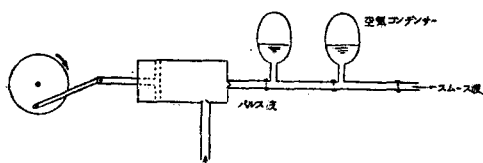
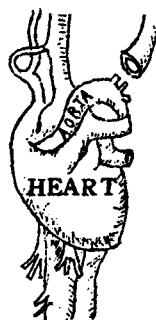


図 9

一見非常にかげ離れた物理現象の驚くほどの類似性をみてきたが、さらにつぎのことをつけ加えたい。すなわち、われわれの心臓に、弾性膜フィルターのしくみが存在することである。大動脈の血管壁の弾性が、先きほどの水流ポンプにおける空気コンデンサーの働きをしている。われわれが



心臓の血管壁のフィルター

10 図

実際の授業において、例えば、2 極管の整流作用を説明した後で、ほんの少しばかり、この心臓の血管壁の膜フィルターにふれるならば、“たのしさいっぱい”⁴⁰⁾の学習へ、一歩進む教育にならないだろうか？

この論文を書くについて高橋・藤村、両先生の論文から多くのヒントを得、また、引用させていただいた部分も多い。何分にも広い範囲の物理現象について、限られた紙面に、かなりあらっぽく記述したため、筆者の思わぬ誤りや、不十分な表現も多いことと思う。この論文は、4-端子ブラックボックスの取扱いを略した心残りがあるが、将来の問題とした未完成なのであ

る。識者の御批判を得れば幸いである。橋高先生（和歌山工専）は、筆者に多大の助言を与えられ、この論文を発表するきっかけとなりました。以上、関係者に感謝します。

- 1) 日本物理学会・日本物理教育学会共催、物理教育シンポジウムにて発表、岡山大学（1965）。
- 2) 奈良工業高等専門学校。
- 3) 富山：現在物理学の論理，3，（1960）岩波書店。
- 4) 高橋・藤村：日本物理学会誌，9，（1954）327；10（1955）160；11，（1956）103；11（1956）423；12（1957）144。
- 5) 井戸川（日本物理教育学会誌 11（1963）13）が電磁気と力学の対応について報告している。また、工学系の見方考え方として興味深い著作（高橋利衛：工学の創造的学習法（昭和 40 年）オーム社、東京）がある。
- 6) “黒い箱”というのは、回路技術者によって、しばしば使用される表現で、内部の回路構成について全く知識が欠けていることを暗示し、内部の知識がなくても、それを特性づけられるという考えを象徴する。
- 7) 変分原理という、一般的な形式からいえば、力とは、ポテンシャルの勾配として表わされる保存力に限られる。
- 8) 古典物理の法則は、原因とその結果に“確定拘束”をつけ加える。量子力学の法則は、原因とその結果に“確率拘束”をつけ加える統計的因果律とみられる。
- 9) 生物学的な法則は、現在の知識状態では“確率拘束”と等価である。（S. Goldman: Information Theory 1935.）
- 10) エネルギーについての変分原理による統一形式もある。
- 11) 一般に線型の物理学では、“はたらきかけ”を基本成分の重ね合わせで表わすことができ、系の“反応”もその各々の成分の重ね合わせで表わすことができる。（線型理論として最も有名なものに、量子力学や電気回路論等がある。）
- 12) この他、化学ポテンシャル、親和力（affinity）等もある。
- 13) Elastance の逆数をいう。
- 14) ゴムは、エントロピー弾性であり、フックの法則は成立しない。
- 15) ビーカーに水を入れ、これにピストンをゆるくはめ込んだ装置。
- 16) J. N. Shive は、 $\text{impedance} = \frac{\text{cause}}{\text{effect}}$ と定義している。（Similarity in Wave Behavior Bell Tel. Lab. 59（1961）また、Impedance の逆数を Conductance という。）
- 17) 法則と呼ばれるものは、すべて一般性をもっていよう。しかしより広い対称に適用される法則ほど、より基本的な法則といえよう。基本法則は、一般に簡単であることが要求されるようである。
- 18) < > 記号は、時間に関する 2 階微分をあらわす。
- 19) 岡山大、梅田教授の表現による（理科教育講座、物理テキスト，昭和 38 年度），このテキストの入手は、和歌山工専、橋高助教授の好意による。
- 20) 高橋・藤村：日本物理学会誌 11，（1956）103。
- 21) direct analog という。この他に力↔電流に対比させる dual analog が、E. A. Firestone によって提唱された（1933）。
- 22) よりくわしい対比は、Euler の連続方程式（質量保存則） $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho v = 0$ と、maxwell の補助方程式（座標間の拘束条件） $\text{div} B = 0$ による。 μ は時間的に変動しないから $\frac{\partial \mu}{\partial t} = 0$ ，を考慮すれば、 $H \leftrightarrow v$ ， $\rho \leftrightarrow \mu$ の対応が得られる。
- 23) 大学レベルでいえば、 H は磁石の canal field， B は磁石中の gap field といえる。高校レベルでいえば、 H は磁石に働く力， B は電流線に働く力ともいえる。
- 24) これは、アナロジーからみた“力学的自然観”の限界を示したものと見える。アナロジーの成功と失敗の例は科学史からしらべられよう。幾何光学↔質点力学の類似から、波動光学に対比される波動力学が予想されたことは、アナロジーのすばらしい成功の一例である。
- 25) 仕事，エネルギー，運動量の総称として用いる。
- 26) 束縛エネルギーのこと。
- 27) 熱エネルギーという方は感心しない。
- 28) 変位電流，を考えることもできるが， H を考えると， $\text{maxwell eq.} \leftrightarrow \text{Euler eq.}$ あるいは、分布定数回路の方程式との対応がよい。
- 29) 準可逆的系としての“輸送現象”熱伝導は“エネルギー”の輸送現象であり、気体の粘性は“運動量”の輸送現象とみられる。パイプを流れる水流、気体拡散は、いずれも“質量”の輸送現象である。電気伝導は“電荷”の輸送現象とみられる。このように対比してみると、“質量”や“電荷”も、保存量として輸送現象に関係している。
- 30) この例以外にも多くの応用例が考えられる。特に、類表の横の関係すなわち、いろいろな自由度の間の交渉を、4-端子ブラックボックスで取扱うことができる。例えば、相変化のクラベロン・クラウジウスの式、化学変化のアレニウスの式、フアント・ホッフの式、断熱消磁のデバイ・ジョークの式、熱電変化のペルチェ効果、トムソンの第 1 関係式、可逆電池のギブス・ヘルムホルツの式、この他まだまだあるが、これらが、電気回路論の“相反法則”として理解され、同一の型式として 2 行 2 列の“F-マトリックス”にまとめられることは、教育上、注目したい。
- 31) ϵ_0 : 真空誘電率。 μ_0 : 真空透磁率（M. K. S. A. 単位）。
- 32) テバイの一次元結晶モデルも、この種の分布定数回路とみられる。
- 33) 伊藤：日本物理教育会誌 10，（1963）28。
- 34) direct analog では、幾何学的形態の類似はうまくいかない。これを改善した analog が力↔電流の対比による dual analog である。
- 35) アンテナ電流のときは、skin effect のため $C \rightarrow \epsilon_0$ ， $L \rightarrow \mu_0$ となり $v = \sqrt{\frac{\epsilon_0^{-1}}{\mu_0}}$ 光速となる。
- 36) 岡山大学の学会において、この点が大変問題になった。高橋・藤村・教授らは、液体 He の第 2 音波も、熱の自由度での波動だと解釈すれば、熱的な運動量、慣性等が考えられるとしている。（日本物理学会誌 11，（1956）105）。
- 37) 参考までに、微分方程式の形式をしらべると。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{熱伝導方程式；拡散方程式；}\kappa \text{ が純虚数} \\ \text{数のときシュレーディンガー波動方程式} \end{array} \right.$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - LC \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - RC \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{電信方程式は、輸送現象と} \\ \text{波動現象とが混っている。} \end{array} \right.$$
- 38) 繰返し構造の回路となる。
- 39) 固体結晶は、電子波に対して、ローパスフィルターと非常によく似た作用をする。この意味深い理由は、一次元周期ポテンシャルでのシュレーディンガーの方程式が、繰返し回路論の方程式と似ているからであろう。いずれも pass band と stop band が出てくることは、いうまでもない。（この興味深いフィルター実験を、Shive のウェーブマシンで簡単にできる。）
- 40) ロゲルギストは実にたのしい“物理の散歩道”を書いている。ロゲルギスト：物理の散歩道（昭 38，続昭 39）岩波書店。

PHYSICAL ANALYSIS OF THE ENERGY TRANSDUCING REACTION IN MITOCHONDRIA*

Nobutaka ITO, Kozo UTSUMI**, Ayako NAKATSUKA

(Director: Prof. Satimaru SENO)

*Department of Pathology, Okayama University Medical School and **Department of Biochemistry, Cancer Institute of Okayama University Medical School, Okayama, Japan*

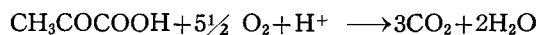
Received for publication, July 11, 1965

In mitochondria free energy produced by transferring electron from substrate to oxygen will mainly be transduced to ATP formation. ATP may furnish energy for the synthesis and translocation of various substances in the cell as well as in mitochondrion itself. Of course, as is generally understood, the essential energy source is not ATP but the high energy intermediate which will be produced in the way of ATP formation or degradation of ATP.^{1,2} But no theoretical explanation has yet been given to the mechanism of transduction of free energy to the energy of ATP formation or other: chemical,⁴⁻¹⁰ physical and mechanochemical reaction¹¹. Therefore, we have tried to analyse theoretically the biological energy transducing mechanism in physical term by which the various known biochemical processes may be arranged on the theoretical basement. Besides this, unknown possible biological reactions to be linked to energy metabolism may be postulated through such a consideration.

In this paper the results obtained by physical analysis of the energy transducing reaction in mitochondria are reported.

According to the present concept of respiratory chain in mitochondria every pair of electrons is transferred from a member of Krebs citric acid cycle to molecule of oxygen under aerobic condition, in the course of which three molecules of ATP in average are synthesized

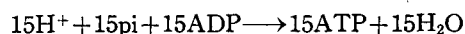
from ADP and inorganic phosphate (Pi); meaning that the P/O ratio is 3.0.³ On the other hand, in the case of the breakdown of substrate, e. g. pyruvate to CO₂ and H₂O, the process can be represented by the following equation:



$\Delta G' = -273.1$ Kcal That is, 5 atoms of oxygen are required for the completion of the reaction.

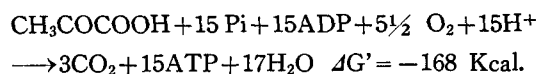
The free energy is calculated as -273.1 Kcal¹².

As the P/O ratio is 3.0, 15 molecules of ATP are formed on the way to the termination of the reaction. That is:



$\Delta G' = -104.8$ Kcal.

In this case, free energy is calculated as -104.8 Kcal. Therefore, the over-all reaction for the oxidation of pyruvate to CO₂ and H₂O is presented by the following equation:



Free energy is -168 Kcal. Then the efficiency of ATP formation by using free energy is 38 per cent.

As for the aerobic phosphorylation, it occurs during the electron transfer from primary dehydrogenase to molecular oxygen via the electron carriers arranged in the respiratory chain, such as nicotinamide adenine dinucleotide (NAD), flavoprotein (Fd and Fs) and cytochromes. The $\Delta E_0'$ between NADH₂ and molecular oxygen is 1.14 volt (E_0' of the oxygen is $+820$ mv and

* This work was supported by the Grant of Educational Ministry of Japan

This work was published on the Acta Med Okayama 19, 209-215 (1965)

E_0' of NADH_2 is -320 mv). Then the $\Delta G'$ of the transfer of a pair of electrons from NADH_2 to molecular oxygen is approximately 52.040 cal/mol, as is calculated from the equation of $\Delta G' = -n F \Delta E_0'$.¹² As the formation of one molecule of ATP requires an input of $7,000$ cal,¹² 7 molecules of ATP should be generated theoretically during the transfer of a pair of electrons from NADH_2 to oxygen. As mentioned above, however, the P/O ratio measured by many investigators is nearly 3.0, then the

efficiency is calculated as nearly 43 per cent, and some loss in energy may be in the actual reaction. $\Delta E_0'$ equivalent to one " $\sim P$ " is 0.16 volt. Consequently, the possible sites of phosphorylation in the electron transport pathway on the respiratory chain can be reasonably deduced from the difference in redox potential between two neighboring components (A, B and C or D in Fig. 1). The first site is NADH_2 —fravoprotein, the second site cyt. b—cyt. c, and third site cyt. a—cyt. a_3 or $\text{cyt. } a_3 - \frac{1}{2}\text{O}_2$. These

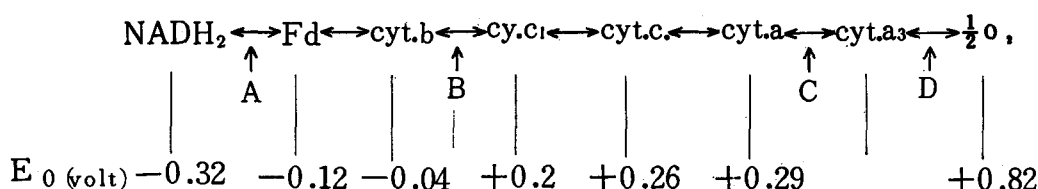


Fig. 1 Possible sites of phosphorylation in the electron transfer pathway on the respiratory chain.

theoretically deduced possible coupling sites of ATP formation to the electron transfer chain coincide partially with those proposed by CHANCE and WILLIAMS¹³ from their spectrophotometric

investigation (Fig. 2). They postulated that the third coupling site of phosphorylation is cyt. c—cyt. a. But the value of $\Delta E_0'$ indicates the cyt. a—cyt. a_3 as a possible site.

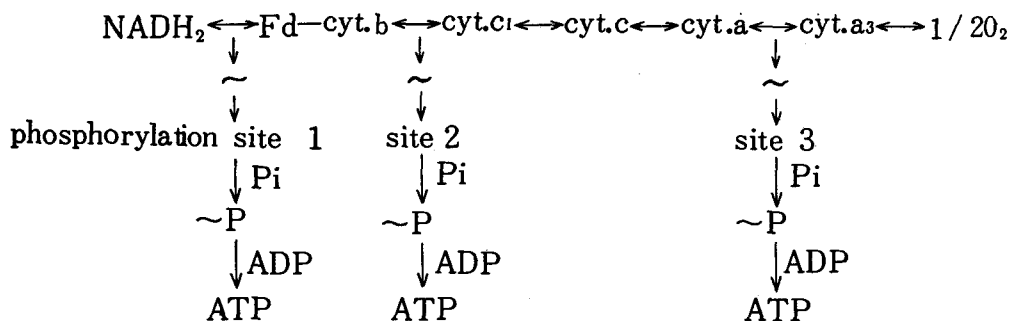
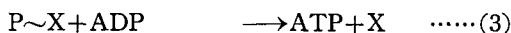
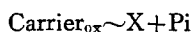
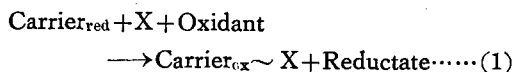


Fig. 2 Diagrammatical representation of phosphorylation sites in mitochondria.

As for the mechanism of ATP formation (Fig. 2) it is postulated by biochemical analysis that the free energy produced by the electron transfer from NADH_2 to molecular oxygen is transduced to the chemical bonding energy as represented by the following equation:



Here X is the energy coupling vehicle. Carrier is the electron carrier such as NADH_2 , cytochromes b and a, ox: oxidated form, red: reduced form. In these reactions, X forms a high energy compound combining with the electron carrier

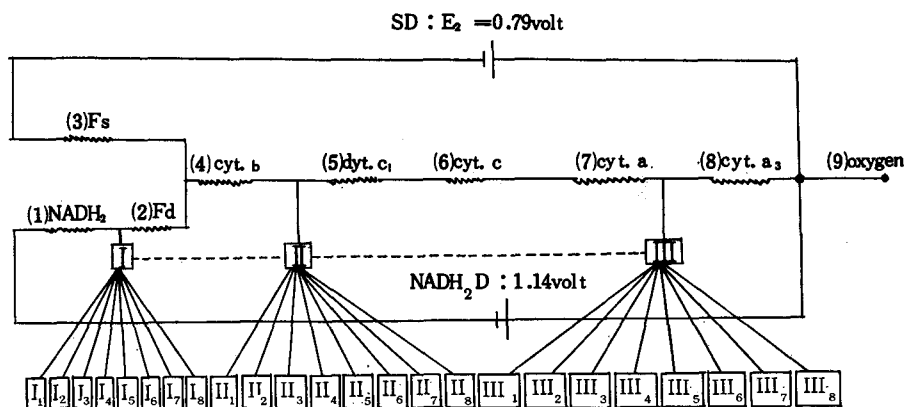


Fig. 3 Diagrammatical drawing of a circuit analog to the energy transducing reaction coupled to the respiratory chain of mitochondria.

- |— battery, corresponds to dehydrogenase.
- |— impedance corresponds to electron carrier.
- 4 terminal black boxes correspond to coupling factor.

in the course of electron transfer, $\text{Carrier}_{\text{ox}} \sim X$. Then the high energy (\sim) is transferred to phosphate forming $P \sim X$ (a high energy phosphate compound) which in turn donates phosphorus to ADP. $\text{Carrier}_{\text{ox}} \sim X$ or $P \sim X$ is a common intermediate to the formation or the degradation of ATP and it will be a direct energy source for the mechanochemical reaction and/or the active ion accumulation as well as for the ATP formation.

Now if we suppose the case where succinate is used as energy source, the diagram presented in Fig. 2 may be indicated as that in Fig. 3 in the term of physics by the theory of circuit analog analysis of physical phenomena,¹⁴⁻²⁰ as electron flow can be understood as an electric current.

As it is well known, in the electron transfer chain of mitochondria the electrons are transferred from NADH_2 to oxygen or Fs to oxygen. E_0' of succinate²⁻ / fumarate²⁻ is +0.03 volt. Then the succinoxidase system (E_2) can be postulated as a battery of 0.79 volt. Primary dehydrogenase is consisted of iso-citric dehydrogenase (E_0' of isocitrate³⁻ / oxalosuccinate³⁻ = -0.30 volt), α -ketoglutaric dehydrogenase (E_0'

of α -ketoglutarate²⁻ / succinyl¹⁻ CoA = -0.50 volt), malic dehydrogenase (E_0' of malate²⁻ / oxaloacetate²⁻ = -0.30 volt), glutamic dehydrogenase (E_0' of glutamate¹⁻ / α -ketoglutarate²⁻ = -0.12 volt) and β -hydroxybutyric dehydrogenase (β -hydroxybutyrate¹⁻ / acetoacetate¹⁻ = -0.35 volt) can reduce NAD to NADH_2 .¹² Therefore, primary dehydrogenase complex can be represented by NADH oxidase system.

In the respiratory chain, electric current will run against the direction of electron transfer. Each individual components cyt. a_3 , a , b , c and c_1 , and fravoprotein can be represented as impedance, because the redox potential of various electric carriers is gradually increased from NADH_2 or Fs to oxygen. The energy preserved in the high energy compound which is formed by the transduction of free energy produced by respiration, transforms itself into the chemical,⁴⁻¹⁰ physical and mechanical energies. It corresponds to the black box in physics, i. e. the theoretical energy transducing machine in physical terms. Accordingly, by the use of terminology of circuit theory the electron transfer system and the oxidative phosphorylation can be presented as an electron circuit being cascaded

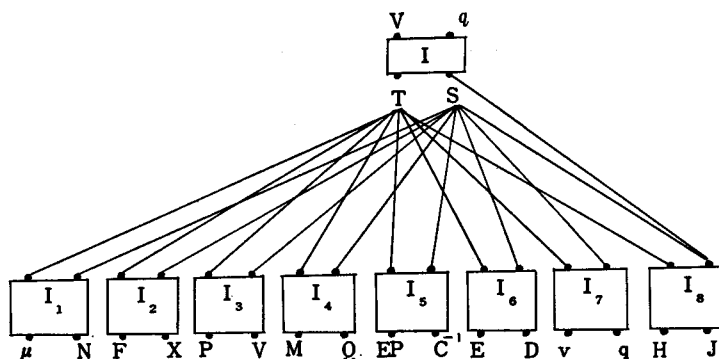


Fig. 4 Representaiton of a possible connection among 4-terminal black boxes as energy transducing reaction.

by several black boxes. The oxidative phosphorylation can be demonstrated as cascade or tandem connection among the several 4-terminal black boxes in the circuit analog as shown in Fig. 3. The coupling mechanism is indicated by the casade between two 4-terminal black boxes, whose terminals have specific *degree of freedom* different in opposite site.¹⁶ Thus the cascades among the black boxes as coupling factors (X) are illustrated in Fig. 4 in detail. In this circuit electrical freedoms, v (potential) and q (electric-charge) can be transduced by black box I to thermal freedoms, T (absolute temperature) and S (entropy). If the fundamenial matrix (F-matrix) of 4-terminal black boxes is denoted by $\begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix}$, the following equation of matrix is obtained:

$$\begin{pmatrix} \Delta V \\ \Delta q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta T \\ \Delta S \end{pmatrix}$$

where, A, B, C and D are matrix elements. According to the circuit theory,¹⁶ the reciprocity theorem is denoted by the following determinant.

$$\begin{vmatrix} AB \\ CD \end{vmatrix} = 1$$

Thus, we obtain $\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta q} = \frac{\Delta Q}{T \Delta q}$ Q : thermal energy. This equation is nothing but the Gibbs-Helmoltz equation. That means the constraint condition between the thermal and electric phenomena. Here the thermal freedoms T and S are transducible to many reactions e. g. che-

mical, hydrodynamical, electrical and electro-magnetical reactions. Thus the further transduction of the energy given by black box I may be presented by the black boxes I_1, I_2, \dots, I_8 . That is, by black box I_1 the thermal freedoms T and S are transduced to chemical freedoms μ (chemical potential) and N (concentration), by black box I_2 to force and displacement, by black box I_3 to pressure and volume and so on. In the case of black box I_1 , the following equation can be obtained as in the case of black box I.

$$\begin{pmatrix} \Delta T \\ \Delta S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 B_1 \\ C_1 D_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \mu \\ \Delta N \end{pmatrix}, \text{ Assuming that } \begin{pmatrix} A_1 B_1 \\ C_1 D_1 \end{pmatrix} = 1,$$

the following equation is obtained.

$$\frac{\Delta \mu}{\Delta T} = \frac{\Delta N}{\Delta S} \dots \dots (I_1)$$

This equation corresponds to the law of Van't Voff or one of Arrhenius, and means that the constraint condition of the changes in chemical equilibrium by the changed temperature and it means ATP formation in mitochondria.

In the black boxes I_{2-4} the thermal freedoms T and S are transferred to mechanical freedoms F (force) and X (displacement), or P (pressure) and V (volume) and/or M (torque moment of force) and Q (angular). Assuming that $\begin{vmatrix} A_2 B_2 \\ C_2 D_2 \end{vmatrix} = 1 \dots$, the following equation is obtained, as in the former case.

$$\frac{\Delta T}{\Delta F} = \frac{\Delta S}{\Delta X} \dots (I_2) \text{ or } \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta V} \dots (I_3) \text{ and/or}$$

$$\frac{\Delta M}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta Q} \dots (I_4)$$

from black boxes I_2 , I_3 and I_4 respectively. The equation I_2 means mechanochemical changes¹¹ in mitochondria, I_3 volume change¹¹ and I_4 unknown but possible changes in mitochondria.²¹

In the black box I_5 , the thermal freedoms T and S are transferred to hydrodynamical freedoms EP (Ionization pressure) and C^{-1} (concentration) and we reduce the following equation.

$$\frac{\Delta EP}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta C^{-1}} \dots\dots(I_5)$$

This equation corresponds to the equation for osmotic pressure and means the active transport in mitochondria⁷.

Furthermore, the thermal freedoms T and S are transferred to electromagnetic freedoms E (electric field) and D (electric displacement) by black box I_6 and v and q by black box I_7 , and following equations are obtained.

$$\frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta D} \dots\dots(I_6) \quad \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta q} \dots\dots(I_7)$$

These equations correspond to the law of Gibbs-Helmholtz or Onsager's reciprocity, and means the possible fluorescence or vectorial property of membrane²² of mitochondria by I_6 and the reversal electron transfer by (I_7) .¹⁰

By the black box I_8 the thermal freedoms T and S are transferred to magnetic freedoms H (magnetic field) and J (magnetic intensity) and the following equation is obtained.

$$\frac{\Delta H}{\Delta T} = \frac{\Delta Q}{T \Delta J} \dots\dots(I_8)$$

This equation means the Debye-Jork equation. The similar theoretical consideration can be applied to the system II to II_1 , $II_2 \dots\dots II_8$ and III to III_1 , $\dots\dots III_8$.

SUMMARY

As is generally known, the energy transducing reaction in mitochondria is of highly complicated one. Free energy produced by transferring electrons from substrate to oxygen, where many dehydrogenases and respiratory chain of mitochondria are concerned, is transduced to

ATP formation or utilized for the ion accumulation reaction, synthesis of various substances, reversal electron transport and the mechanochemical changes of mitochondria. The mechanism of these energy transducing reactions which is supposed to be closely related with each other, has not yet been clarified. The authors tried to solve these biological energy transducing mechanism by applying physical circuit theory in electronics and elucidate that the energy transduction occurring in mitochondria can be explained theoretically. And some unknown but possible reaction have been postulated from such a physical consideration.

REFERENCES

1. LEHNINGER, A.L.; *Modern Physics* **31**, 136, 1959
2. LEHNINGER, A.L.; *Fed. Proc.* **19**, 952, 1960
3. LEHNINGER, A.L.; *The Mitochondrion*, Benjamin, New York, 1964
4. WOJTCZAK, L., WLODAWER, P. and ZBOROWSKI, J.; *Biochim. Biophys. Acta* **70**, 290, 1963
5. ROSSI, C.S. and LEHNINGER, A.L.; *Biochem Biophys. Res Comm.* **11**, 441, 1963
6. BRIERLEY, G.P., MURER, E. and GREEN, D. E.; *J. Biol. Chem.* **238**, 3482, 1963
7. CHAPPELL, J.B. and CROFTS, A.R.; *IEG*, **1**, 358, 1965
8. RASMUSSEN, H., CHANCE, B. and OGATA, E.; *IEG* **1**, 384, 1965
9. GREFFITHS, D.E.; *Fed. Proc.* **22**, 1064, 1964
10. CHANCE, B. and HOLLUNGER, G.; *J. Biol. Chem.* **236**, 1534, 1961
11. LEHNINGER, A.L.; *Physiol. Rev.* **42**, 467, 1962
12. HAGIHARA, B.; in "Modern Biochemistry" (Gendaino Seikagaku) *Kagaku* suppl. **16**, 42 and 74, 1965, in Japanese
13. CHANCE, B. and WILLIAMS, G. R.; *Advances in Enzymol.* **17**, 65, 1956
14. TAKAHASHI, H. and FUJIMURA, Y.; *J. Phys. Sci.* **9**, 326, 1954
15. TAKAHASHI, H. and FUJIMURA, Y.; *Jap. J. Phys. Sci.* **10**, 31, 1955
16. TAKAHASHI, H. and FUJIMURA, Y.; *Jap. J. Phys. Sci.* **10**, 160, 1955
17. TAKAHASHI, H. and FUJIMURA, Y.; *Jap. J. Phys. Sci.* **11**, 103, 1956
18. TAKAHASHI, H. and FUJIMURA, Y.; *J. phys. Sci.* **11**, 423, 1956

19. TAKAHASHI, H. and FUJIMURA, Y.: *Jap. J. Phys. Sci.* **12**, 144, 1957
20. ITO, N.: *Jap. J. Phys. Sdu. Sci.* **14**, 1, 1966
21. HECHTER, O.: *Fed. Proc.* **24**, s-91, 1965
22. MICHELL, P.: *Nature* **191**, 144, 1961

火災による架空電線の軟化について

(架空電線の災害防止に関する研究 第3報)

今 西 周 蔵・野 口 泰 正

Annealing of Over Head Conductor by Fire

by Shuzo IMANISHI and Yasumasa NOGUCHI

抄 録

我が国は人家密度が高く、架空送電線が人家の上や近くを通過する場合が多い、町や村を通る電気鉄道に於ける架空電線の場合もそうであるが、近くの建物が火災を起すと、架空電線が高温度にさらされて、軟化、溶断の危険がある。溶断に至らなくても電線を取りかえねばならぬかどうか、判断がむづかしい。筆者は(1)火災の現象は不確定なものであるが、関係専門家によって、或る標準がされているので、これをもとにして、架空電線の温度上昇を推算し、別に(2)電線の実用張力のもとでの、軟化の温度時間特性を実験し、(1)と(2)より、出火建物と架空電線との間の距離が、どれ位いならば架空電線を取りかえねばならぬか、と云う、危険距離について推算している。

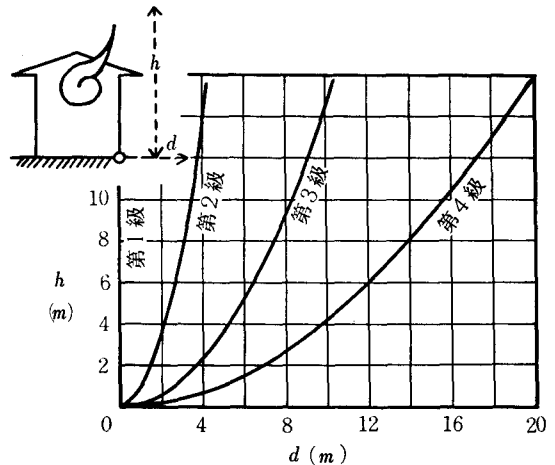
1. まえがき

我が国は土地が狭く、人家密度が高いために、特別高圧架空送電線が、人家の上や近くを通過する場合が多い、町や村の中を通る電気鉄道に於ける架空電線もそうであるが、近くの建物が火災を起すと、架空電線が高温度にさらされて、軟化したり、溶断したりする危険がある。また、溶断に至らなくても、軟化によって機械的強度が低下するので、新しい電線にとりかえねばならぬかどうか判断がむづかしい。火災の現象は不確定である上に実験をするわけにも行かない。だが、この方面の関係者の努力によって、或る標準が示されているので、それをもとにして、電線の軟化について若干の推算を試みた、それによって電線を取りかえねばならぬかどうかの判断の目安を得たいと考えた次第である。

2. 火災近くの空気の温度

建物が火災の場合に、近くの空気の温度分布や、その時間的变化は、火災の規模や、風向、風力等によって一

定しないだろうが、多数回の火災実験の結果を総合して、JISには第1級から第4級までの標準が示されている。⁽¹⁾第1図は出火建物(木造)近くの標準等温曲線を示



第1図 出火建物附近の温度分布(標準)

したもので、各々の曲線は

$$h = pd^2 \dots \dots \dots (1)$$

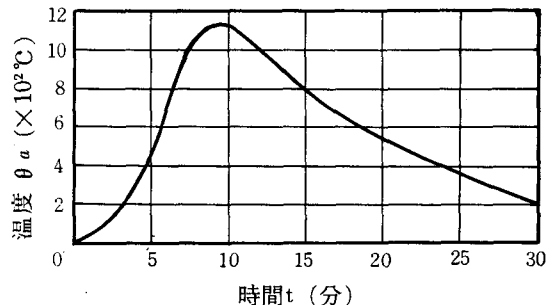
の関係がある、ここに

d出火建物からの水平距離(m)

h地上高さ(m)

p定数で、第2級は0.82 第3級は0.15
第4級は0.04である。

第2図は第1級の温度時間曲線を示した、その最高温度



第2図 木造建築物の火災温度時間特性
(第1級標準の場合)

は1,120°Cである, 第2級, 第3級, 第4級は温度が第1級の $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ 及び最高温度が260°Cのもので, 時間的変化の割合は第1級と同じである。

第2図の曲線を, 筆者は次のように数式化して見た。曲線を(1)成長 (2)飽和 (3)減衰の三つの部分に分けると, (1)は0~5分間の比較的低い温度の範囲であるから, この部分を無視するならば(2)の飽和曲線は $\{1 - \exp(-t/\tau_1)\}$, (3)の減衰曲線は $\exp(-t/\tau_2)$ の形で夫々あらわされるので, (2)(3)をつぎかけると, 空気温度は

$$\theta_a = K\theta_{am} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right\} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \cdots (2)$$

とあらわし得る, ここで $\theta_a = K\theta_{am}\xi(t)$ と置くと,

$$K\xi(t) = K \left\{ \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1} - \frac{t}{\tau_2}\right) \right\} \cdots (3)$$

となり, $K\xi(t)$ は第2図の第1級 (第2級, 第3級, 第4級) の各曲線に共通のものである。第2図を $\log\theta$ と t の関係に書き直して, 作図によって τ_1 , τ_2 K 等の概数を求めて見たら, $\tau_1 = 0.087$ 時 (5.2分), $\tau_2 = 0.53$ 時 (32分), $K = 1.9$ であった。

3. 火災の熱輻射による電線の受熱

火災の近くにある電線は, (1)火災の輻射熱と, (2)火災に伴って生ずる高温気流 (熱風) にさらされるが, この節では, そのうち, 先ず(1)について述べている。

木造建物の火災では, 火災の熱輻射によって, 近くの物体が受ける熱量は

$$r = \frac{RA'\eta}{\pi d^2} \cdots (4)$$

で示される, ここに

r受熱量(Kcal/m²h)

R火災の輻射熱(Kcal/m²h)

A'受熱面から見た火災の投影面積(m²)

d火災と受熱面との距離(m)

η受熱面の相対輻射係数

である。実験の結果によると, (1) R の値は 0.5~1.0 $\times 10^5$ Kcal/m²h である, (2) A' の値は第2図や(3)式のように, 時間的に変化するだろうが, 最盛期では, d が比較的大きい場合に, 受熱面から見た建物の燃焼投影面積 A の 0.85~1.7 倍である, (3) A' が大きい場合は, R が比較的小さいので, 建物の大小による RA' のちがいは, そう大きなものではない, 面積 A の 1 m² 当り約 10⁵ Kcal/h 見当である。 η の値は, 電線表面の色や汚れによって異なるが, 黒体輻射を 1.0 とした時, 黒く煤けた状態では, 普通に 0.9 としている。これらの値を(4)式に入れると電線の受熱量は

$$\left. \begin{aligned} Q_r &= 3.18 \times 10^4 \cdot \frac{AD}{d^2} K\xi(t) \\ &\equiv q_r K\xi(t) \\ q_r &= 3.18 \times 10^4 \cdot \frac{AD}{d^2} \end{aligned} \right\} \cdots (5)$$

である, ここに

Q_r, q_r火災の熱輻射による電線の受熱量 (Kcal/mh)

A電線から見た建物の燃焼投影面積 (m²)

D電線の直径(m)

である, 第1表は代表的な電線直径に対して q_r を計算したものである。

A/d^2 D (mm)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
10	0.63×10^2	1.59×10^2	3.18×10^2
20	1.27 "	3.18 "	6.36 "
30	1.91 "	4.77 "	9.54 "

第1表 火災の熱輻射による電線の受熱量 q_r (Kcal/mh)

4. 熱風による電線の受熱

1本の電線が周囲の熱風から受ける熱量は

$$\left. \begin{aligned} Q_a &= \pi D \alpha (\theta_a - \theta_c) \\ &\equiv q_a (\theta_a - \theta_c) \end{aligned} \right\} \cdots (6)$$

但し $q_a = \pi D \alpha$

である, ここに

Q_a熱風による電線の受熱量(Kcal/mh)

α電線表面の平均熱伝導率(Kcal/m²h°C)

θ_a空気温度(°C) = $K\theta_m \xi(t)$

θ_c電線の温度(°C)

である, また α は次の

$$Nu = \alpha \frac{D}{\lambda}$$

と関係がある, ここに

NuNusselt 数

λ温度 θ_a の空気熱伝導率(Kcal/mh°C)

である, また Nusselt 数は次の

$$Nu = C R_e^m$$

但し $R_e = \frac{VD}{\nu}$

に關係がある, ここに

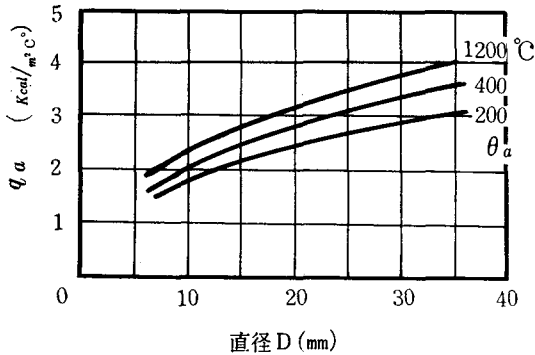
R_eReynolds 数

V.....熱風の風速(m/s)

 ν温度 θ_a の空気動粘性係数(m²/s)

C, m,実験定数

である、上の各式は空気温度 θ_a によって変化するもので、先ずその様子を計算によって丹念に調べた。(冗長になるので記載を省略する)その上で、上の各式から q_a を



第3図 熱風に対する熱伝導率

求めた、第3図は熱風に対する電線表面の平均熱伝導率 q_a と電線の直径との関係を示した。

5. 電線からの放熱

火災の熱輻射や熱風にさらされている電線が、急激に温度上昇する様子を概算して見たところ、火災の熱輻射による受熱が、熱風による受熱よりもかなり大きいため、電線の温度は、熱風の温度よりも高くなることがわかった。それゆえ、この節では、電線から周囲の空気中への放熱について述べている。

(1) 電線から空気中への輻射熱量

これは一般に次式であらわされる。⁽³⁾

$$Q'_r = 4.88\pi D\eta \left[\left(\frac{273 + \theta_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \theta_a}{100} \right)^4 \right] \dots\dots(7)$$

ここに、 Q'_r輻射放熱量(Kcal/mh)

上式を書きかえて

$$\left. \begin{aligned} Q'_r &= \pi D\eta r (\theta_c - \theta_a) \\ &\equiv q'_r (\theta_c - \theta_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

但し $q'_r = \pi D\eta r$

として見ると、 $(\theta_c - \theta_a)$ の値が 100°C 以下では近似的に

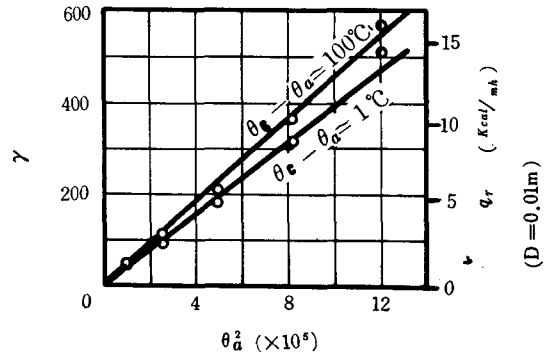
$$r \approx 4.2 \times 10^{-4} \theta_a^2$$

が得られる、これを(8)式に入れてもよいが、このままの

形ちでは、後述の計算が複雑になるので、とりあえず、 θ_a の代表値を選んで、定数として扱うことにする。第4図は r の値と、電線の直径が $D = 1$ cm の場合の q'_r の値と θ_a^2 との関係を示した。

(2) 風による電線の放熱

風に対する電線表面の熱伝導率 α は〔4〕節の場合に

第4図 θ_a^2 と r および $\pi\eta r$ との関係

等しいから、電線の放熱量は

$$Q'_a = q_a (\theta_c - \theta_a) \dots\dots\dots(9)$$

であって、 q_a の値は前掲第3図の通りである。

6. 電線の温度

単位時間中に、電線に入る熱量は $(Q_r + Q_a)$ であるが、予備的な概算によれば、 Q_r が大きいために、電線の温度 θ_c は熱風の温度 θ_a よりも高くなるので、 Q_a は負になる

単位時間中に、外部から電線に入る熱量は、内部に蓄えられる熱量と、外部へ放散する熱量との和に等しいゆえ、

$$Q_r dt = Cd\theta_c + (Q'_r + Q'_a) dt$$

となる、ここに

$C = C_p W$電線の熱容量(Kcal/m°C)

C_p電線材料の比熱(Kcal/kg°C)

W電線の重量(kg/m)

$d\theta$dt 時間中の電線の温度変化(°C)

第2表は、代表的な電線の熱容量を示した。

上式から電線の温度 θ_c を求めると

$$\theta_c = K\theta_{am} \left(1 + \frac{1}{q'r + q'a} \cdot \frac{qr}{\theta_m} \right) \cdot \left[\begin{aligned} & \left[\frac{E_{xp} \left(-\frac{t}{\tau_2} \right) - E_{xp} \left(\frac{-a'r - a'a}{C} \cdot t \right)}{1 - \frac{1}{\tau_2} \cdot \frac{C}{q'r + q'a}} \right] - \\ & - \frac{E_{xp} \left(-\frac{t}{\tau_1} - \frac{t}{\tau_2} \right) - E_{xp} \left(\frac{-a'r - a'a}{C} \cdot t \right)}{1 - \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \left(\frac{C}{q'r + q'a} \right)} \right] \end{aligned} \right]$$

となる、これに電線の実用数値を入れて見ると、〔 〕中の第1項、第2項とも各々分子の第2項は第1項に比べて極めて小さいことがわかった、それゆえ分子の第2項を無視すると、上式は

$$\theta_c = K\theta_{am} \left(1 + \frac{1}{q'r + q'a} \cdot \frac{qr}{\theta_m} \right) \cdot \left[\begin{aligned} & \left[\frac{E_{xp} \left(-\frac{t}{\tau_2} \right)}{1 - \frac{1}{\tau_2} \left(\frac{C}{q'r + q'a} \right)} \right] - \\ & - \frac{E_{xp} \left(-\frac{t}{\tau_1} - \frac{t}{\tau_2} \right)}{1 - \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \left(\frac{C}{q'r + q'a} \right)} \right] \end{aligned} \right] \dots\dots\dots (10)$$

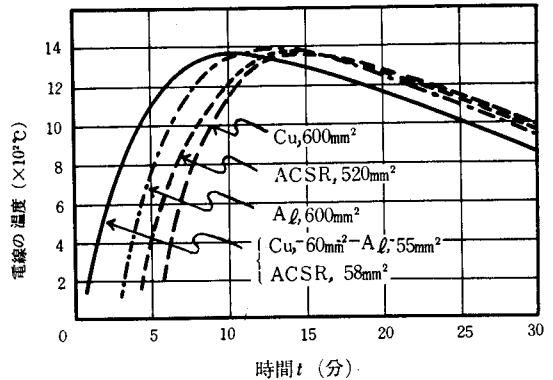
$$\text{但し} \left[\begin{aligned} & \left[\frac{E_{xp} \left(-\frac{t}{\tau_2} \right)}{1 - \frac{1}{\tau_2} \left(\frac{C}{q'r + q'a} \right)} \right] - \\ & - \frac{E_{xp} \left(-\frac{t}{\tau_1} - \frac{t}{\tau_2} \right)}{1 - \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \left(\frac{C}{q'r + q'a} \right)} \right] \end{aligned} \right]$$

となる。この式に、これ迄、掲げて来た実用数値を入れて、電線の温度を計算して見た、第5図は、その結果の

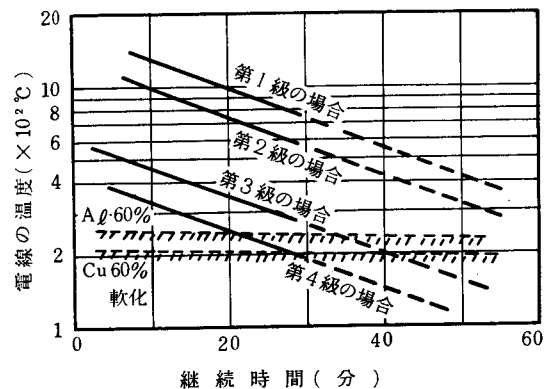
名 称	公 称 断面積 (mm ²)	直 径 (mm) D	重 量 (Kg/m) W	比 熱 (Kcal/ Kg°C) ν	熱容量 (Kcal/ m°C) C
硬 銅 燃 線	600	31.9	5.47	0.092	0.503
	240	20.0	2.15		0.168
	60	10.0	0.537		0.0494
硬アル ミ燃線	510	29.4	1.41	0.24	0.339
	240	20.0	0.655		0.157
	55	9.6	0.154		0.369
鋼 心 アルミ 燃 線	520	31.5	1.97	Al = 0.42 st = 0.11	0.394
	200	20.3	0.912		0.182
	58	10.5	0.233		0.0466

第2表 主な電線の熱容量

一例で、第1級 ($\theta_{am} = 1,120^\circ\text{C}$) の場合を示した。この図で特徴を要約すると、電線の種類 (材質) や直径の大小によって、(1)電線の最高温度は余りがわかない、(2)温度時間特性曲線は、時間の位相が多少ずれているだけで、曲線の形は余りがわかないことである。第5図から、電線の或る温度と、それ以上の温度が持続する時間との関係を求めて、第6図に示した。同じような方法で第2級 ($\theta_{am} = 840^\circ\text{C}$)、第3級 ($\theta_{am} = 420^\circ\text{C}$) および第4級 ($\theta_{am} = 260^\circ\text{C}$) の各々の場合について求めたものを、同図に併記した。



第5図 加熱された電線の温度
($\theta_m = 1,120^\circ\text{C}$ の場合)



第6図 電線の温度と持続時間

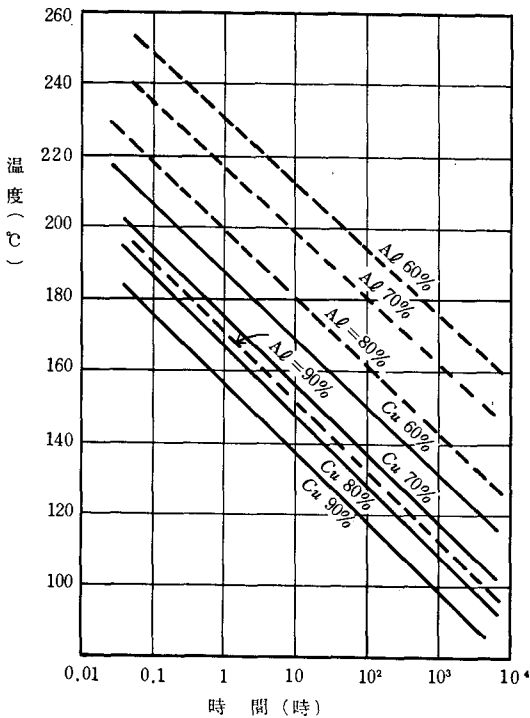
7. 電線の高温軟化

電線が高温軟化のために、機械的強度がどれ程低下するかは、(1)電線の温度と、(2)その温度の持続時間、(3)その間に課せられた張力、(4)電線材料とその加工度、等によって多少異なるものである。

筆者の一人はかつて、大麻氏とともに、硬銅線と硬アルミニウム線について、実用状態と同じ条件の張力をかけ乍ら、高温の軟化特性を実験した⁽⁴⁾、その結果はMurray氏⁽⁵⁾およびHunter氏⁽⁶⁾等が夫々の文中で引用している特性曲線とよく合致した、それを、わかり易く、一般的に図示すると第7図の通りである。ここでは、電線を引張って破断する時の力が、加熱前を100%として、加熱軟化後の残存強度が、60%、70%、80%、90%とした時の、温度時間特性で示している。

第6図と第7図を比較し、同じ持続時間に対して、電線の温度が軟化温度を上廻るか否かを調べて見た、例えば第7図のうち、残存強度60%の線を、第6図に併記して見ると、図示の通り、電線温度は、最も温度の低い第4級の場合でも、銅アルミとも、軟化線を約20分間に亘

て超過していることがわかる。電線が軟化した後の残存強度は、実用上どれ位まで許し得るか。電線は、台風の時や、雪の多い地方では着氷の時に、いずれも異常に

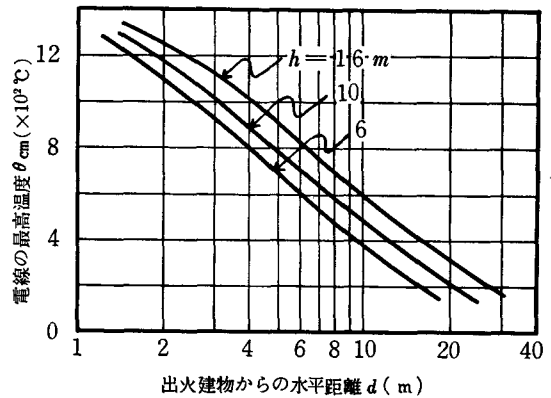


第7図 銅とアルミニウムの軟化特性
(%は残存強度)

苛酷な張力に耐えねばならない、それゆえ、その地方の、最悪気象条件を考慮し、例えば、比較的平穏なヨーロッパでは、残存強度は75%或は極く短期間に対して50%を限度とした試みがある、然し、気象変化が比較的幅広い我が国や北アメリカでは、一般に90%を目安として考えられている。⁽⁵⁾⁽⁶⁾

そうならば、第7図から、残存強度が90%を下らぬようにするには、電線の最高温度が約200°Cを超過しないようにしなければならない。またそのためには、出火建物と架空電線との間の安全距離はどれ位に考えればよいか。第1図と第6図から距離と電線の最高温度との関係の第8図が得られる、第8図で安全温度を200°C一定とすれば、建物からの水平距離 d と地上高さ h との関係が得られる、これを第9図に示した。

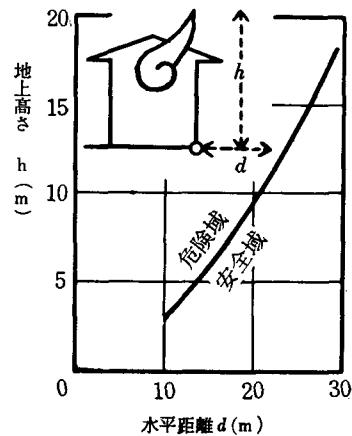
以上は、硬銅線や硬アルミ線の電線について述べたが、鋼線の場合は、安全温度は約400~600°Cと云われているので、安全距離は、第8図から見て硬銅線や硬アルミ線(安全温度約200°C)の場合の約半分まで、小



第8図 出火建物からの水平距離と電線の最高温度

さくとり得るようである。

鋼心アルミ撚線の場合は、従って鋼線と硬アルミ線との中間値を考えればよい。



第9図 安全距離

8. むすび

吾々は幼い頃から、屢々火災を見聞していて、誰れもが知っているように、火災の現象ははっきりと定められるものではない。然し、関係者の研究によって第1図や第2図のような標準が示されている、それゆえ、これをもとにして、出火建物の近くにある架空電線の温度を推算して見た。一方別に、電線の軟化特性を実験した筆者の結果を用いて、架空電線の軟化度を推定して見た。その結果、(1)架空電線の温度が約200°C(数分間)超過すると、その電線はとにかえた方がよい。(2)出火建物と、架空電線との間の距離で云うならば電線をとりかえねばならぬ危険範囲は、電線が張られている地上高さに

関係し、第9図の通りである。これから見て、架空電線は近くの火災に対して案外弱いものであることが推察される、また筆者が実際の被災電線について調査した僅かな例でも、それを裏書きするものであった。

参 考 文 献

1. 防災ハンドブック 昭39. p727
2. 電気学会, 裸送電線電流容量委員会報告, 昭23.
3. 機械学会, 伝熱工学資料 昭38. p34
4. 今西, 大麻 (未発表)
5. L.F. Murray, Elec, World Feb. 16. 1959.
6. T.Hunter, K.E. Voigt. May 1963.
IEEE Meeting, No. DP 3-783.

電気鉄道におけるトロリー線の雪害について⁽¹⁾⁽²⁾

(架空電線の災害防止に関する研究 第4報)

今 西 周 蔵・高 岡 光 男

Damage by Snow of Trolley Wire of Electric Railway.

by Shuzo IMANISHI and Mitsuo TAKAOKA.

抄 録

昭和40年3月中旬、大阪府の中南部に珍しい局部的な大雪があり、トロリー線は25か所で断線し、この方面の列車の運転が完全にまひしたことがあった。温暖な地方でのこの珍しい経験を反省して、その真相を報告し、互いに知識の交換を図りたい。報告の内容は、電車のパンタグラフに雪が積って、その重みでパンタグラフが下がり、すり板とトロリー線との間の接触が悪くなり、電流のためにトロリーを過熱して溶断したとの推論と、それが真実であるか、どうかの調査と、対策について述べている。

1. まえがき

わが国は、北は北海道から、南は九州まで、日本海側の豪雪地はもちろんのこと、太平洋側の温暖地でも、多かれ少なかれ大雪に見舞われる。そんな時、思いがけない災害のために、関係者は大変な苦しみをなめることがある。のみならず、交通量の多い大都市やその周辺での障害は、ただちに社会問題へと発展する傾向があるので、こうした社会の苦悩を緩和するためにも、われわれは、ことあるごとに、その経験を語り合って、不意のできごとに備えたいものである。

この報告は、雪には少々縁の遠い温暖な一地方の、それも春を目前にしたある日の雪の出来ごとである。昭和40年3月16日夜から翌朝にかけて、大阪府の中南部に局地的な大雪があり、平地でも積雪量は20cmを越えたと言われ、温暖なこの地方には珍しいことであった。このために、電車線、信号線、通信線、などに多くの断線事故が発生し、この方面の列車の運転は一時、完全にまひ

してしまった。これらの断線のなかでも、トロリー線の断線は、雪のために起きた電氣的な現象によって発生しており、この地方としては珍しい経験であった。ここにその概要を報告し、何かのお役に立てたいと思う。

2. トロリー線の断線の状況

列車が進行中、または停車中に、パンタグラフに雪が積り、それが次第に大きくなり、その重量で、パンタグラフの押上力がはなはだしく減少し、パンタグラフすり板とトロリー線との間の接触が悪くなる。一列車にいくつかのパンタグラフがあり、それが並列に接続されているので、着雪量の多いパンタグラフから次々と集電の機能を失い、ついに最後の一つのパンタグラフに、列車の全電流がかかることになる。しかしそれさえも、着雪量の増加につれ、ついに、すり板とトロリー線との間が開離することになる。しかし、大抵はすでに列車がとまっており、また、列車の容量が大きく、電灯、暖房、コンプレッサなどの列車の最小電流が大きいために、開離に至る前に、接触不良の状態でトロリー線の一点を過熱し、軟化して張力による絞り切れを起しているものが多い。過熱軟化による変色の長さは破断点を含めて数〜10数cmにわたっている。列車の容量が比較的小さく、すり板とトロリー線との間が開離するまで耐え得たものは、トロリー線の表面に、その時に発生した電弧による溶痕が残っている。このようにして、トロリー線が切れたものの数は第1表に示す通り約25件あったが、このほかにも、軟化細りのままで、断線を免かれたものもかなりある。

第1表を要約すると被害の件数は、

第1表 トロリー線の断線件数

線路 番号	地 域 (大阪)	断線 件数	電 圧 (V)	すり板の 材料	列車の 容 量
A	南 部	13	600	銅 合 金	大
B	東 南 部	10	"	"	"
C	中 南 部	0	"	"	小
D	南 部	0	1,500	"	大
E	東 南 部	0	"	"	"
F	"	1	"	カーボン	"
G	中 部	1	600	"	"
H	"	0	"	—	小

(1) 降雪量の地域的な、ちがいに大きく影響されている。

(2) 列車の容量が大きいところが多い。

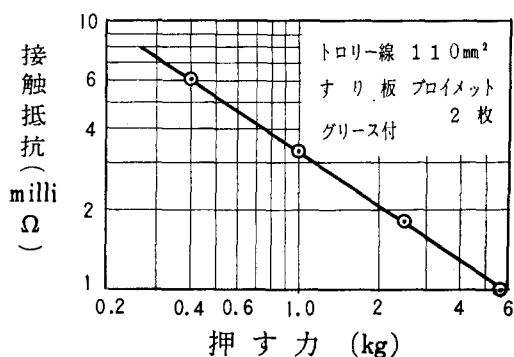
などで、電圧の大きさによるちがいや、すり板の材料によるちがいなどを比較するのは無理である。

次に、上に述べたような、パンタグラフの着雪からトロリー線の断線を招くまでの推論が、真実そうであるかどうかを、いろいろの方角から調べて、できれば、対策の手がかりを得たいと思った。以下順を追って記述しよう。

3. パンタグラフの押上力と接触抵抗

すり板とトロリー線との間の電気的接触抵抗が、パンタグラフの押上力によって、どのように変わるか、第1表は 110mm² 硬銅トロリー線と、幅が 25mm のブロイ

第1図 すり板とトロリー線との間の接触抵抗



メットすり板 2枚との間の、電気的接触抵抗 (材料の抵抗を含まず) を、その間の押す力を変えて測定したものである。これを数式で示すと、

$$R = \frac{3.2}{P^{0.7}} \times 10^{-3} \Omega \quad (1)$$

となり、線接触の接触抵抗に関する E. Contius 氏の

実験式⁽³⁾とよく合致している。ここに R は接触抵抗 (Ω) P は押す力 (kg)。いま、通電電流と、接触抵抗とによって発生する熱量 $I^2 R$ が、伝導と放散による放熱量 $\lambda \theta$ と平衡しているとすれば、押す力が P_1 から P_2 に減した場合の温度上昇 θ_2 は、 λ が θ によって変らないと仮定すれば、

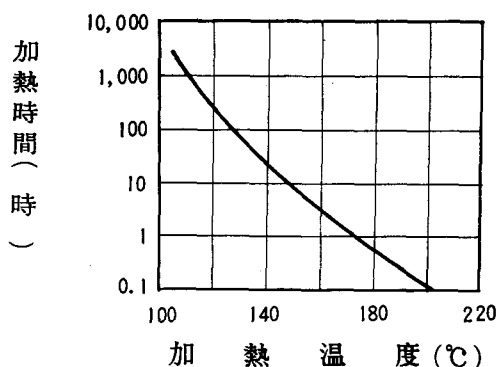
$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{0.7} \quad (2)$$

である。

4. トロリー線の軟化温度

トロリー線が軟化する温度は、その温度を、どれほどの時間をかけるかによってちがってくる。トロリー線を引張って切れるときの力が、加熱前を 100% とするとき、加熱によって軟化して 90% に減少する (すなわち 10% だけ弱くなる) ことを条件とすれば、温度と時間との関係は第2図のようになる。これからもし、時間を数〜数10分の見当とすると、温度は約 200℃ 前後となる。

第2図 硬銅トロリー線の軟化特性
(引張り破断力が加熱前の90%に低下する場合)



5. パンタグラフの押上力と

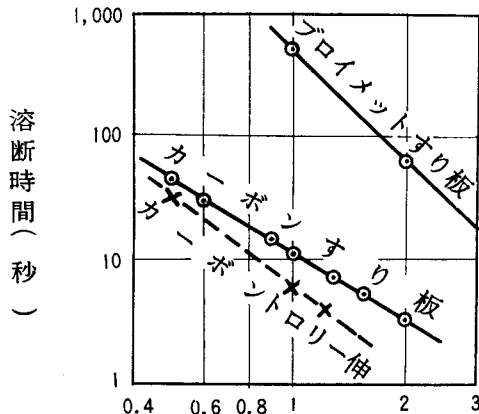
トロリー線の溶断電流

トロリー線を正常の張力で張り、パンタグラフを静止した位置で、正常な力で押し上げ、両者の間に、一定値の大電流を一定時間だけ通して、両者の接触部でトロリー線が溶断するかどうかの限界を求める実験が、かつて、東京都交通局⁽⁴⁾や京阪電鉄⁽⁵⁾によってなされている。そのうちの一部を第3図に引用した。これを数式化すると、

$$I^2 t^n = k \quad (3)$$

となる。ここに I は電流 (kilo-Amp), t は時間(秒)で、すり板がカーボンの場合は、 $n=1$ $k=11$, またすり板がブロイメットの場合は、 $n=0.8$ $k=144$ である。 k は(1)すり板の固有抵抗や、(2)すり板とトロリー線との間の電氣的接触抵抗、(3)熱の放散などに関する

第3図 すり板とトロリー線との接触部におけるトロリー線の溶断特性
(パンタグラフ押上力、トロリー線張力とも正常、110mm² 硬銅トロリーの場合〔文献5より引用〕)



通 電 電 流 (Kilo-Amp)

が、トロリー線が軟化する時の温度、時間、熱放散などが変わらないとすれば、 k は(1)と(2)のみに関係し、また(1)は(2)に比べて非常に小さいゆえ、ほとんど(2)によって左右されると考えてよい。したがって(1)~(3)の各式からトロリー線の溶断電流は、

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.712} \dots\dots\dots (4)$$

となる。この式から、もし、列車の停止中の全電流が、数10Amp. 溶断までの時間が数10秒の見当と仮定するなれば、 P_2/P_1 は 1/1,000 の程度となり、 $P_2=0$ であることがわかる。すなわち、パンタグラフの着雪によって、押上力がほとんど零になっているわけである。

6. パンタグラフへの着雪量

パンタグラフの正常時の押上力が、5~6 kg であったものが、附着した雪の重みでほとんど零になるわけであるが、そのようなことが真実に起り得るものかどうか、少しく検討してみた。

(1) 平地の積雪高さは、大阪平野のうちでも、地域や、地形によってははなはだしく異なったが、トロリー線の被害の多かった地域では、約20cm、または、それ以

上だったとも言われている。また(2)細い通信線や配電線にまつりついた筒状雪の直径は、大きいものでは8~10cm もあったと言われている。これら(1)と(2)の関係は、荘田氏の実験式

$$d = \frac{2}{\pi} h \dots\dots\dots (5)$$

によく合っている、そして、このような湿気の多い雪の密度は、同氏の新潟における長年の実測結果では 0.1~0.2g/cm³ とされている。しかし、われわれの温暖な地方の、しかも春を間近にした当時の気候では、もっと大きかったのではないだろうか。

パンタグラフのうちでも着雪し易い部分は、シュー平面状の部分である。その面積は、型式によって異なるが、例えば、約 150cm×9 cm のもの、2枚が1組となっているものを考え、雪の密度を 0.2g/cm³、シュー上の着雪重量を 5.5kg とすれば、シュー上の積雪高さは約 10cm ということになる。当時、現地の観察では、それ以上であったと言われている。

7. 対 策

パンタグラフシュー上の積雪高さと、平地の積雪高さとの相関がわからないが、安全を見て、もし 1:1 であとするならば、今回のような、春先きの湿った雪のもとでは、平地の積雪高さが 10cm を超過するとき、大型車によるトロリー線の溶断について、一応懸念することが望ましい。

雪の多い地方では、降雪時のみ、パンタグラフの押上力⁽⁷⁾⁽⁸⁾を増加する装置を仕加することが考えられているが、雪の少ない温暖な地方では、それは不経済である。今回のように数年~10数年にあるか、ないかの偶の大雪には、竹竿^{さお}を持って、パンタグラフの雪落しをするのも一つの簡便な方法であると言われている。

最後に、この報告をなすに当ってご協力を賜った関係電鉄会社と、住友電工KKに衷心お礼を申し上げます。

文 献

- (1) 今西, 高岡, 電気連合大会昭 40.10No. 7~9
- (2) 今西, 電気鉄道, 昭41.3.P.20
- (3) 鳳, 電気接点と開閉接触子 昭37 P.124
- (4) 東京都交通局, 集電委員会資料 昭37
- (5) 京阪電鉄, 集電委員会資料 昭38
- (6) 電気学会, 耐雪設計分科会資料 昭39. 8
- (7) 西田, 電気鉄道 昭39. 8. P.5
- (8) 浅野, 電気鉄道 昭39. 8. P.25

集束形電波レンズ*

(Focusing Lens for Electromagnetic Waves)

阿座上 孝

(Takashi AZAKAMI)

あらまし

任意の分布波源から放射された電磁波を線集束形および点集束形ビームに変えるための電波レンズについて考察した。これらの解析結果は、マイクロ波によるプラズマ定数測定のほか多方面にわたって活用が期待される。

1. まえがき

電波レンズとしては、現在、誘電体レンズの他に、バズレンスレンズ、メタルプレートレンズなどが理論的に検討され、実用化されているが、これらは点的波源から放射された球面波を平面波に変換し、指向性の鋭い平行形ビームを形成するためのレンズとして利用されているものが大半を占めている。本論文は任意の分布波源から放射された電磁波を線集束形および点集束形ビームに変えるための電波レンズについて、焦点近傍の界分布を回折理論にしたがって考察したものである。

2. 線集束形レンズ

図1において、レンズ面 A は集束軸 (z 軸) を中心軸

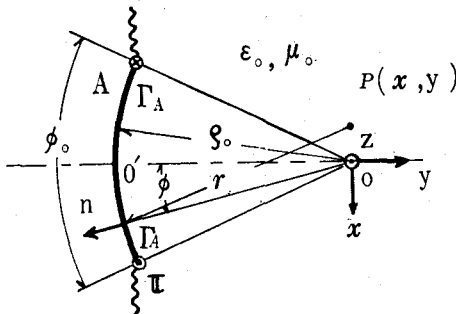


図1. 線集束形レンズの座標系

とする半径 ρ_0 なる円柱面であり、 z 軸方向には無限に長く、また、この横方向の大きさは z 軸から A の両端を見たときの開きの角度 ϕ_0 で表わすこととする。さらに、レンズ面 A 上の電界 \mathbf{E} が、 $E_x=0, E_y=0$ で、かつ、 E_z は z 軸方向には変化せず、また開口面は波長 λ にくらべて十分大きいと仮定すれば、焦点近傍の電界は $x-y$ 平面上の2次元問題として取扱うことができる。ここで、入射波は z 軸へ集束する円柱波であるから、一般

$$\mathbf{E}_z = E_0 S(\phi) H_n^{(1)}(k\rho) \quad (2 \cdot 1)$$

で表わされる。ただし、 $H_n^{(1)}(k\rho)$ は第1種ハンケル関数、 E_0 は点 $O'(0, -\rho_0, 0)$ における電界の大きさ、 $S(\phi)$ は開口面上での電界分布を示す係数で照度分布と呼ぶことにする。本論文では時間因子 $e^{j\omega t}$ を省略して記述する。

つぎに、開口面上の電磁界分布からの放射を計算する場合、開口面上の回折によって、この面上の電磁界は乱されず、開口面以外の面上では電磁界は零と仮定すれば、境界線上の不連続を補償するために、この線上に線電荷分布および線電流分布を仮定してマクスウェル氏の方程式を適応させねばならぬ。このとき、開口面から r の距離にある点 P の電界はつぎの式で与えられる。

$$\mathbf{E}_p = \frac{1}{4\pi} \left\{ \int_A \left(\phi \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial n} - \mathbf{E} \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) ds + \int_{\Gamma_A} \phi (\mathbf{E} \times \boldsymbol{\tau}) d\ell + \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \int_{\Gamma_A} \nabla \phi (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{H}) d\ell \right\} \quad (2 \cdot 2)$$

ただし、

$$\phi \text{ は } \nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0 \text{ の根で } \phi = \frac{e^{-jkr}}{r},$$

$k^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$, μ_0 = 真空中の透磁率, ϵ_0 = 真空中の誘電率, ω = 角周波数, Γ_A は境界線, \mathbf{n} は開口面 A の法線方向の単位ベクトル, $\boldsymbol{\tau}$ は Γ_A の接線方向の単位ベクトルで向きは図示の通りである。

式 (2・2) の近似度は開口面上の電磁界のそれに依存する。もし、開口面が波長にくらべて十分大きければ精度の高いものとなる。

*この論文の内容は大阪大学工学紀要昭和41年10月に発表した。(英文)

いま、平面開口を考えて、点 $O'(0, -\rho_0, 0)$ と点 P とを結ぶ線分が z 軸となす角を θ とすると、 θ の小さいときは式 (2.2) の 2 つの線分は打消し合い、 $\mathbf{r} \cdot \mathbf{H} = 0$ 、 $\mathbf{E} \times \mathbf{r} = 0$ 。したがって、つぎのごときスカラー回折式を得る。

$$U_p = \frac{1}{4\pi} \int_A \left(\psi \frac{\partial U}{\partial n} + U \frac{\partial \psi}{\partial n} \right) ds \quad (2.3)$$

ただし、 U はベクトルの z 成分で、 U_p はその P 点における値である。

ここで、電界は z 成分のみを考えればよいから、任意の点 P の電界 E_p は式 (2.3) より

$$E_p = \frac{1}{4\pi} \int_A \left(\psi \frac{\partial E_z}{\partial n} - E_z \frac{\partial \psi}{\partial n} \right) ds \quad (2.4)$$

一方、電波レンズでは、焦点距離 ρ_0 は波長 λ にくらべて十分大きいとして

$$H_n^{(1)}(k\rho) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi k\rho}} \left[\exp j\left(k\rho - \frac{2n+1}{4}\pi\right) \right] \quad (2.5)$$

したがって、

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial E_z}{\partial n} \right]_{\rho=\rho_0} &= E_0 S(\varphi) \left[\frac{\partial H_n^{(1)}(k\rho)}{\partial \rho} \right]_{\rho=\rho_0} \\ &\approx jk E_0 S(\varphi) \left(1 - \frac{1}{2jk\rho_0} \right) \sqrt{\frac{2}{\pi k\rho_0}} \\ &\quad \left[\exp j\left(k\rho_0 - \frac{2n+1}{4}\pi\right) \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

また、

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{-jkr}}{r} = -\left(jk + \frac{1}{r} \right) \frac{e^{-jkr}}{r} \cos(n, r) \quad (2.7)$$

$$ds = \rho_0 d\varphi \quad (2.8)$$

ゆえに式 (2.4) は

$$\begin{aligned} E_p &\approx \frac{jk}{4\pi} E_0 \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} S(\varphi) H_n^{(1)}(k\rho_0) \left\{ \left(1 + \frac{1}{jkr} \right) \right. \\ &\quad \left. \cos(n, r) + \left(1 - \frac{1}{2jk\rho_0} \right) \right\} \frac{e^{-jkr}}{r} \rho_0 d\varphi \end{aligned} \quad (2.9)$$

さらに、 P 点を焦点の近傍と考えれば

$$\rho_0^2 \gg x^2 + y^2, \quad \cos(n, r) \approx 1, \quad kr \gg 1, \quad k\rho_0 \gg 1$$

と見做して

$$\frac{e^{-jkr}}{r} \approx \frac{e^{-jk\rho_0}}{\rho_0} [\exp jk(x \sin\varphi - y \cos\varphi)] \quad (2.10)$$

したがって、結局、焦点近傍の点 $P(x, y)$ の電界 E_p は

$$\begin{aligned} E_p &\approx \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} S(\varphi) \\ &\quad [\exp jk(x \sin\varphi - y \cos\varphi)] d\varphi \end{aligned} \quad (2.11)$$

なる式で表わすことができる。

2.a. 焦点面上の電界分布

x - x 平面上の電界分布を考える。このときは式 (2.11) において $y=0$ とおき

$$E_p = \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} S(\varphi) e^{jkx \sin\varphi} d\varphi \quad (2.12)$$

2.a.1. 照度分布が一様分布【 $S(\varphi)=1$ 】の場合

$\sin\varphi \approx \varphi$ なる近似を行えば式 (2.12) は

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} \frac{jkx \sin\varphi}{2} d\varphi \\ &\approx \frac{jk}{\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \frac{\varphi_0}{2} \frac{\sin\left(kx \frac{\varphi_0}{2}\right)}{\left(kx \frac{\varphi_0}{2}\right)} \end{aligned} \quad (2.13)$$

ただし、 $n=0$ 。

焦点に対する任意点 P の比電界強度を I で表わせば

$$I = \frac{E_p}{E_{pmax}} = \frac{\sin\left(kx \frac{\varphi_0}{2}\right)}{\pi p \varphi_0} \quad (2.14)$$

ただし $p=x/\lambda$ 、

式 (2.14) をグラフに示せば図 2 のごとくなる。波長 λ をパラメータにとった場合も図 2 と同じ傾向の曲線群を得る。勿論、波長が短いほど集束度が大きくなる。

さて、集束度の尺度として図 3 のごとく、電界強度が焦点におけるその $1/\sqrt{2}$ 倍になるところの幅を d_h で表わし半値幅と呼び、主ビームの幅を d_z で表わし零値幅と名付けることにし、一様照度分布の場合のそれぞれの値を求める。

$$d_h \text{ は式 (2.14) より } \frac{\sin\pi\varphi_0}{\pi\varphi_0} \frac{d_h}{2\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{とおき } \frac{d_h}{\lambda} \approx \frac{50.65}{\varphi_0[\text{度}]} \quad (2.15)$$

$$d_z \text{ は } \sin\pi\varphi_0 \frac{d_z}{2\lambda} = 0$$

$$\text{とおき } \frac{d_z}{\lambda} \approx \frac{114.6}{\varphi_0[\text{度}]} \quad (2.16)$$

式 (2.15) および (2.16) をグラフに示せば図 4 のごとくなる。

2.a.2. 照度分布が余弦分布【 $S(\varphi)=\cos\left(\frac{\pi\varphi}{\varphi_0}\right)$ 】の場合

式 (2.12) より

$$E_p = \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} \cos\left(\frac{\pi\varphi}{\varphi_0}\right) e^{jkx \sin\varphi} d\varphi$$

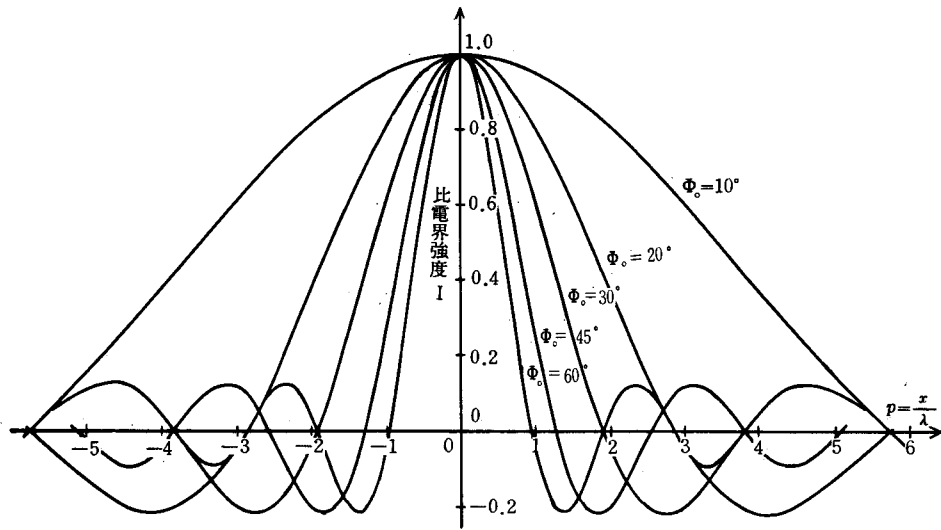
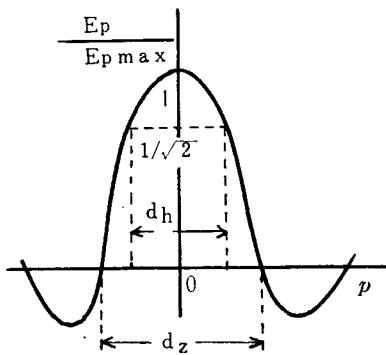
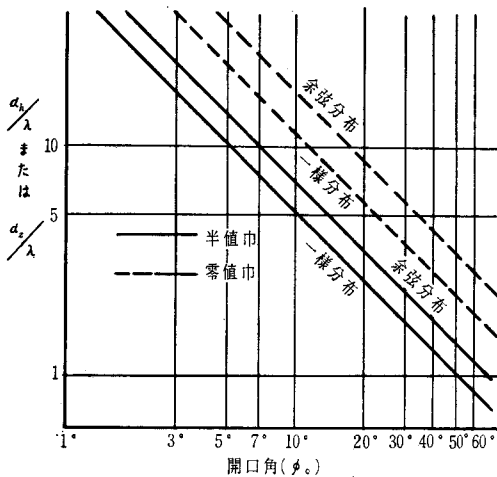


図2. 一様な照度分布の線集束形レンズの焦点附近的電界分布

図3. d_h, d_z の定義図4. d_h, d_z , と ϕ_0 との関係

$$\cong \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \left(-\frac{2}{\pi\phi_0} \right) \frac{\cos(\pi\phi_0 p)}{4p^2 - \frac{1}{\phi_0^2}} \quad (2 \cdot 17)$$

ただし, $n = \frac{\pi}{\phi_0}$.

$$I = \frac{E_p}{E_{p \max}} = \frac{\cos\pi\phi_0 p}{1 - 4(p\phi_0)^2} \quad (2 \cdot 18)$$

式 (2・18) をグラフに表わせば図5のごとくなる。
さらに, この場合の半値幅 d_h は

$$\frac{\cos\left(\pi\phi_0 \frac{d_h}{2\lambda}\right)}{1 - 4\left(\phi_0 \frac{d_h}{2\lambda}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{とおき} \quad \frac{d_h}{\lambda} \cong \frac{68.18}{\phi_0 [\text{度}]} \quad (2 \cdot 19)$$

また, 零値 d_z は $\cos\pi\phi_0 \frac{d_z}{2\lambda} = 0$ とおき

$$\frac{d_z}{\lambda} \cong \frac{171.9}{\phi_0 [\text{度}]} \quad (2 \cdot 20)$$

式 (2・19) および (2・20) をグラフに示せば図4のごとくなる。

図4より, 余弦分布の場合は一様分布の場合にくらべて集束度が劣っていることがわかる。これは, 余弦分布の場合はレンズ開口面の両端部での電界強度の減少が実効的に ϕ_0 を小さくするためと考えられる。

2.b. レンズ開口面の中心軸上の電界ならびに位相分布

$x=0$ において式 (2・11) より

$$E_p = \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \int_{-\frac{\phi_0}{2}}^{\frac{\phi_0}{2}} s(\varphi) e^{-jk\rho_0 s\varphi} d\varphi \quad (2 \cdot 21)$$

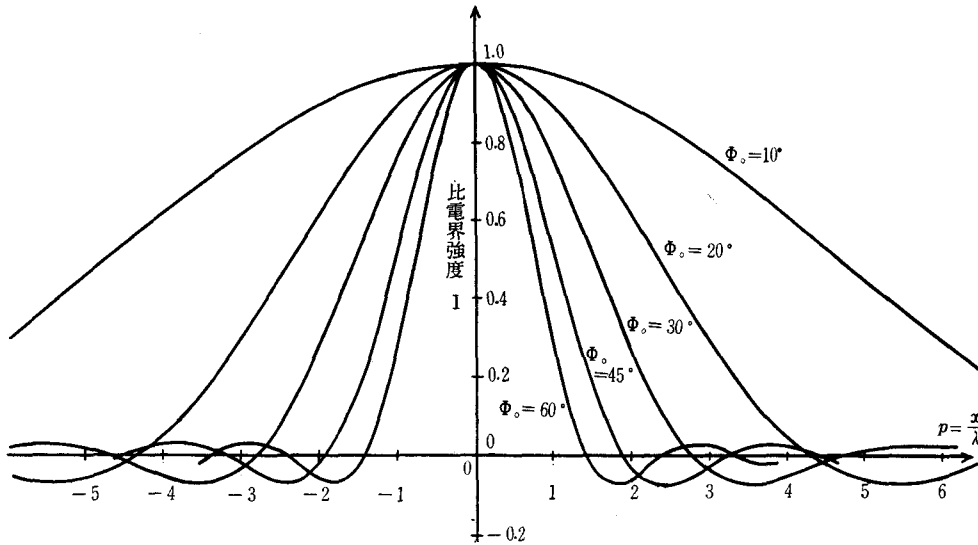


図5. 照度分布が余弦分布の線集束形レンズの焦点近傍の電界分布

図6. 一様照度分布の場合の焦点近傍の軸方向電界分布

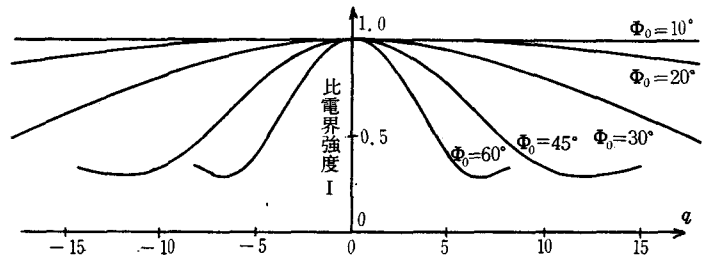
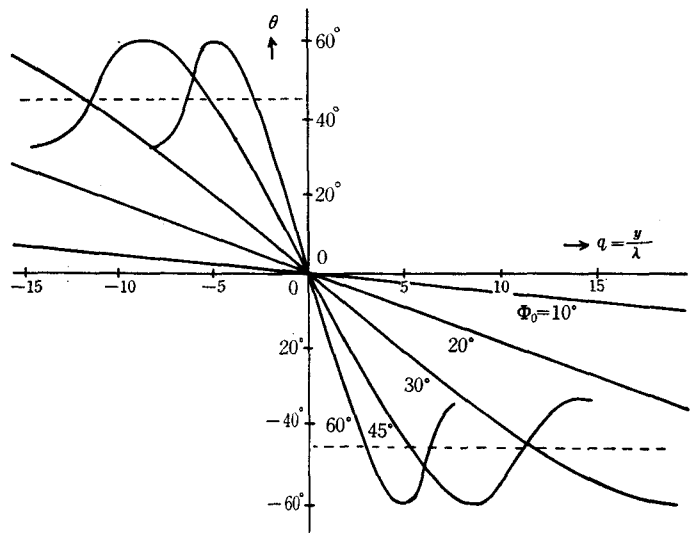


図7. 一様照度分布の場合の焦点近傍の軸方向位相分布

2.b.1. 照度分布が一様【 $s(\varphi)=1$ 】の場合

式(2.21)に $\cos\varphi \cong 1 - \frac{\varphi^2}{2}$ なる近似を行ない
フレネル積分によるつぎの関係式

$$C(x^2) \pm jS(x^2) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x e^{\pm jt^2} dt \quad (2.22)$$

を用いれば

$$E_p \cong \frac{jk}{\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \cdot e^{-jk y} \sqrt{\frac{\lambda}{2|y|}} \{C(t_0^2) \pm jS(t_0^2)\} \quad (2.23)$$

ただし, $t_0 = \frac{y_0}{2} \sqrt{\frac{k|y|}{2}}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, 複号は $y > 0$ の

とき正, $y < 0$ のとき負, $n=0$ 。

したがって,

$$I = \left| \frac{E_p}{E_{p \max}} \right| = \frac{2}{\varphi_0} \sqrt{\frac{1}{2|q|}} \left\{ C^2 \left(\frac{\varphi^2}{4} \pi |q| \right) + S^2 \left(\frac{\varphi^2}{4} \pi |q| \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2 \cdot 24)$$

ただし, $q = y/\lambda$ 。

式(2・24)をグラフに示せば図6のごとくなる。

つきに, 位相分布は

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{jk}{2\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \left[\exp -jk \left\{ y + \frac{1}{2ky} \left(\frac{\pi}{\varphi_0} \right)^2 \right\} \right] \int_0^{\frac{\varphi_0}{2}} \left\{ \left[\exp j \frac{ky}{2} \left(\varphi + \frac{\pi}{ky\varphi_0} \right)^2 \right] + \left[\exp j \frac{ky}{2} \left(\varphi - \frac{\pi}{ky\varphi_0} \right)^2 \right] \right\} d\varphi \\ &= \frac{jk}{\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-jk\rho_0} \left[\exp -jk \left(y + \frac{\pi}{4\varphi_0^2 |q|} \right) \right] (\pi |q|)^{-\frac{1}{2}} \int_1^{t_2} e^{jt^2} dt \\ &= \frac{jk}{\pi} E_0 H_n^{(1)}(k\rho_0) e^{-j' \rho_0} \left[\exp -jk \left(y + \frac{\pi}{4\varphi_0^2 |q|} \right) \right] (2|q|)^{-1/2} (a \pm jb) \end{aligned} \quad (2 \cdot 26)$$

ただし, $t_1 = -\sqrt{\pi |q|} \left(\frac{\varphi_0}{2} - \frac{1}{2|q|\varphi_0} \right)$,

$t_2 = \sqrt{\pi |q|} \left(\frac{\varphi_0}{2} + \frac{1}{2|q|\varphi_0} \right)$, 複号は $y > 0$ の

とき正, $y < 0$ のとき負。また,

$a = C(t_2^2) \mp C(t_1^2)$, $b = S(t_2^2) \mp S(t_1^2)$, 複号は $t_1 > 0$ のとき負, $t_1 < 0$ のとき正, $n = \frac{\pi}{\varphi_0}$ 。

式(2・26)より,

$$I = \left| \frac{E_p}{E_{p \max}} \right| = \frac{\pi}{2\varphi_0} (2|q|)^{-\frac{1}{2}} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2 \cdot 27)$$

上式をグラフに示せば図8のごとくなる。

つきに, 位相分布は次式で求められる。

$$\theta = -ky - \frac{\pi}{4\varphi_0^2 q} \pm \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad (2 \cdot 28)$$

ただし, 複号は $y > 0$ のとき正, $y < 0$ のとき負。

式(2・28)をグラフに表わせば図9のごとくなる。

この場合も焦点をこえると $\pi/2$ だけ位相のおくれを生ずることになる。

3. 点集束形レンズ

図10.を参照して, レンズ面 A は $\xi_0 \times \eta_0$ の方形をなし, この面上では, 焦点(座標原点) O に集束する電磁波は $\frac{e^{jkR}}{R}$ の形をと

り,かつ, y 方向の直線偏波とすれば, レンズ面

$$\theta_{\pm} = -ky \pm \tan^{-1} \frac{S(\pi |q| \varphi_0^2/4)}{C(\pi |q| \varphi_0^2/4)} \quad (2 \cdot 25)$$

ただし複号は $y > 0$ のとき正, $y < 0$ のとき負。

式(2・25)をグラフに表わせば図7のごとくなる。

この場合, 式(2・25)の右辺第2項は q の増加とともに $\pi/4$ の値に近づくから, 線集束形レンズでは焦点をこえると位相は $\pi/2$ だけおくれることになる。

2.b.2. 照度分布が余弦分布 $[s(\varphi) = \cos \frac{\pi\varphi}{\varphi_0}]$ の場合

式(2・21)より,

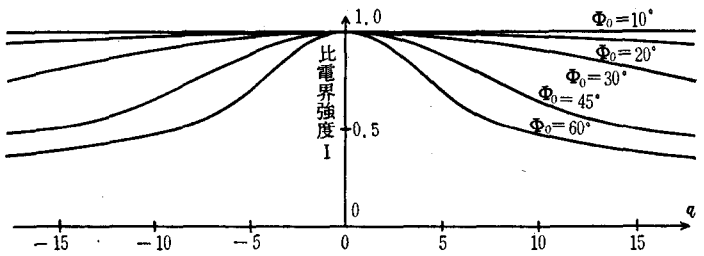


図8. 余弦照度分布の場合の焦点近傍の電界分布

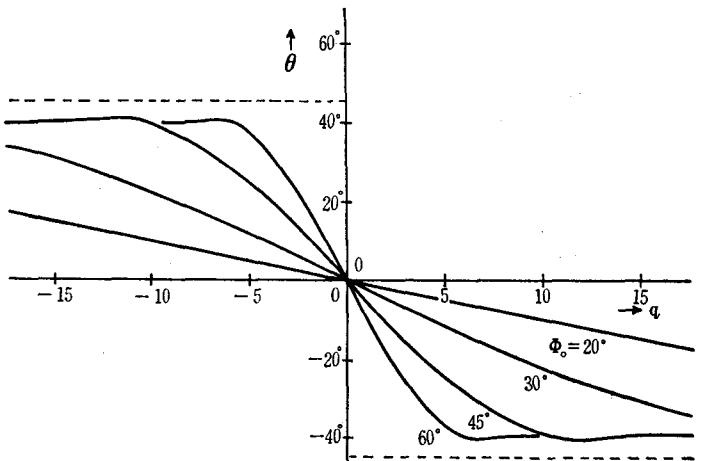


図9. 余弦照分布の場合の焦点近傍の軸方向位相分布

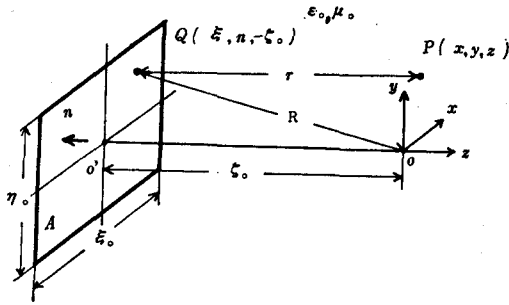


図10. 点集束形レンズの座標系

上の点 $Q(\xi, \eta, -\xi_0)$ の電界 E は

$$E = E_0 S(\xi, \eta) \frac{e^{jkR}}{R} \quad (3.1)$$

ただし、 $S(\xi, \eta)$ はレンズ面上の照度分布、 R は点 Q と焦点 O との間の距離。

したがって、式(2.3)につぎの式

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial n} &= -jk \left(1 + \frac{1}{jkr} \right) \psi \cos(n, r) \\ \frac{\partial E}{\partial n} &= jk \left(1 - \frac{1}{jkr} \right) E_0 S(\xi, \eta) \cos(n, R) \frac{e^{jkR}}{R} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

を代入し、 $kr \gg 1$ 、 $kR \gg 1$ 。および、焦点からレンズ面 A の両端を見た角度があまり大きくない場合には $\cos(n, r) \cong \cos(n, R) \cong 1$ なる諸関係を適用すれば

$$E_p \cong \frac{jk}{2\pi} E_0 \int_{-\xi_0/2}^{\xi_0/2} \int_{-\eta_0/2}^{\eta_0/2} \frac{e^{jk(R-r)}}{Rr} S(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (3.3)$$

ここでさらに、

$$\left. \begin{aligned} R-r &\cong \frac{x\xi+y\eta}{\xi_0} - z + \frac{(\xi^2+\eta^2)}{2\xi_0^2} z \\ R, r &\cong \xi_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

なる近似を行なうことにより結局、焦点近傍の点 P の電界 E_p はつぎの式で表わされることになる。

$$E_p = \frac{jk e^{-jkz}}{2\pi \xi_0^2} E_0 \int_{-\xi_0/2}^{\xi_0/2} \int_{-\eta_0/2}^{\eta_0/2} S(\xi, \eta) \exp \left[jk \left(\frac{x\xi+y\eta}{\xi_0} + \frac{\eta^2+\xi^2}{2\xi_0^2} z \right) \right] d\xi d\eta \quad (3.5)$$

3.a. 焦点面上の電界分布

x - y 面上の分布は、式(3.5)において $z=0$ とおき、かつ、 $S(\xi, \eta) = S_1(\xi) S_2(\eta)$ のごとく照度分布が分離できるものとすれば

$$E_p \cong \frac{jk}{2\pi \xi_0^2} E_0 \int_{-\xi_0/2}^{\xi_0/2} S_1(\xi) e^{jk \frac{x}{\xi_0} \xi} d\xi \int_{-\eta_0/2}^{\eta_0/2} S_2(\eta) e^{jk \frac{y}{\xi_0} \eta} d\eta \quad (3.6)$$

上式中の積分は同形であるから、例えば ξ に関するものについて考える。いま、 $\xi/\xi_0 = \tan \varphi$ 、 $\xi/2\xi_0 = \tan \frac{\varphi_0}{2}$ とおき、 φ および φ_0 の値があまり大きくないときは

近似を行なうことにより

$$\int_{-\xi_0/2}^{\xi_0/2} S_1(\xi) e^{jk \frac{x}{\xi_0} \xi} d\xi \cong \xi_0 \int_{-\varphi_0/2}^{\varphi_0/2} S_1(\xi_0 \varphi) e^{jk x \varphi} d\varphi \quad (3.7)$$

式(3.7)の右辺の積分は線集束形レンズの x 軸上の電界分布を表わしている。

同様に、 η に関する積分は線集束形レンズの y 軸上の電界分布を表わすものになる。

したがって、焦点 x - y 上の電界分布は、照度分布が上述のごとく積の形に分離される場合には、それらの個々の照度分布をもつと考へた線集束形レンズについて独立に x 軸および y 軸上の電界分布を計算し、それらの積を作ることにより求めることができる。

3.b. レンズ開口面の中心軸上の電界ならびに位相分布

式(3.5)において、 $x=y=0$ とおき、

$S(\xi, \eta) = S_1(\xi) S_2(\eta)$ なる分離形を考えれば

$$E_p \cong \frac{jk}{2\pi \xi_0^2} E_0 e^{-jkz} \int_{-\xi_0/2}^{\xi_0/2} S_1(\xi) e^{jkz \frac{\xi^2}{2\xi_0^2}} d\xi \int_{-\eta_0/2}^{\eta_0/2} S_2(\eta) e^{jkz \frac{\eta^2}{2\xi_0^2}} d\eta \quad (3.8)$$

と変形される。

式(3.8)の各々の積分は線集束形レンズの場合の電界および位相分布と同形である。したがって、点集束形レンズの中心軸上分布は、照度分布 $S_1(\xi)$ で焦点からレンズを見た角度 φ_0 なる y 軸方向に無限にのびている線集束形レンズによる分布と、照度分布 $S_2(\eta)$ で焦点からレンズを見た角度 $\theta_0 = 2 \tan^{-1} \frac{\eta_0}{2\xi_0}$ なる x 軸方向に無限にのびている線集束形レンズによる分布との積の形で与えられることになる。すなわち、電界分布は両レンズによる電界の積、位相分布は両レンズによる位相の和として求められる。したがって、点集束形レンズでは焦点をこえたと位相は π だけおくれることになる。

4. 結 言

単純化した集束形レンズを仮定して回折理論により、その焦点近傍の電界分布ならびに位相分布を求めた結果、簡単な関数形で表わされることがわかった。また、任意波長の電磁波を集束する場合の集束限界を簡単な表現式で示した。

これらの解析理論は、近年飛躍的に発展しつつあるプラズマ定数の測定に関する研究において、マイクロ波あ

るいはミリ波を利用する方法に応用できるほか、多方面にわたって活用が期待される。

謝辞 終りに、日頃ご指導いただいている大阪大学工学部板倉清保教授、ならびに有益なご討論をいただいた大阪市交通局浜井正直氏に深謝する。

文 献

- (1) S.Silver, "Microwave Antenna Theory and Design", McGraw-Hill Book, Inc., (1949)
- (2) P.A.Matthews & A.L. Cullen, "A Study of The Field Distribution at An Axial Focus of A Square Microwave Lens", monograph No. 186R, pp.449~455, July, (1956)

表面波合成によるH線路の伝送姿態*

(H-Guide Mode Composed by Surface-wave Mode)

阿座上 孝

(Takashi AZAKAMI)

あらまし

H線路の電磁界分布は誘電体板上の表面波を合成することにより求められ、かつ、この方法によればH線路における伝送姿態の物理的概念の把握が容易であることを述べている。

1. まえがき

1956年、ミリ波帯の開発とともに新しい伝送系として F.J. Tisher 氏により H線路が提唱されて以来、塩谷光, J. W. E. Griemsmann, 吉田信一郎の各氏が理論的ならびに実験的な検討を行ってきた。伝送特性に関するこれらの理論式は、取扱う領域全体にわたってマクスウェル氏の方程式を適応させ、摂動法により得たものであり、伝送姿態を物理的に考察することが難しい。

本論文は、比較的単純な誘電体板上の表面波を合成して得られる界分布が上記 Griemsmann 氏らの導いた H線路に対する式と完全に一致することを述べたものであって、このことにより、H線路の伝送姿態に関する物理的概念の握把がさらに容易となる。

2. 誘電体板上表面波伝送姿態

厚さ a , 比誘電率 K_e , 透磁率 μ_0 の無限に広った均質誘電体板が真空中に置かれた場合のマクスウェル氏の界方程式は、誘電体板中での損失が界分布に影響をおよ

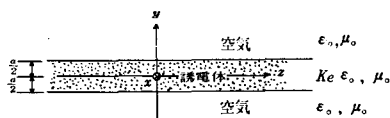


図1. 無限にひろがった誘電体板の座標系
ばさないと仮定すれば、図1の座標系を参照して次式の

ごとく表わされる。

$$\left. \begin{aligned} -K_0' H_x &= \omega \epsilon E_y \\ jK_0' H_y + \frac{\partial H_z}{\partial y} &= j\omega \epsilon E_x \\ \frac{\partial H_x}{\partial y} &= -j\omega \epsilon E_z \\ K_0' E_x &= \omega \mu_0 H_y \\ jK_0' E_y + \frac{\partial E_z}{\partial y} &= -j\omega \mu_0 H_x \\ \frac{\partial E_x}{\partial y} &= j\omega \mu_0 H_z \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 1)$$

ただし、 z 方向の伝播定数 $\gamma'z = jK_0'$, 誘電体中では $\epsilon = K_e \epsilon_0$, 空気中では $\epsilon = \epsilon_0$, $\frac{\partial}{\partial x} = 0$,

本論文では文献(3)における諸記号を引用し、時間因子 $e^{j\omega t}$ を省略する。

2.1. TM姿態

$H_z = 0$ とおけば式(2・1)より

$$\left. \begin{aligned} E_x &= 0 \\ H_y &= 0 \\ \frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} &= (K_0'^2 - \omega^2 \epsilon \mu_0) H_x \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 2)$$

H_x の解は $y=0$ なる $z-x$ 平面に対し、対称および非対称の両姿態に分けられる。

2.1.1. 対称TM姿態

この場合は $\left[\frac{\partial H_x}{\partial y} \right]_{y=0} = 0$ 。

したがって、式(2・1)および式(2・2)より、 $|y| \leq \frac{a}{2}$ では

$$\left. \begin{aligned} H_x &= B(\cos K_{ye} y) e^{-jK_0' z} \\ E_y &= -\frac{K_0'}{K_e \omega \epsilon_0} B(\cos K_{ye} y) e^{-jK_0' z} \\ E_z &= -j \frac{K_{ye}}{K_e \omega \epsilon_0} B(\sin K_{ye} y) e^{-jK_0' z} \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 3)$$

ただし、 $K_0'^2 = K_e K_0^2 - K_{ye}^2$, K_{ye} は誘電体中の y 方向の位相定数, $\omega^2 \epsilon \mu_0 = \omega^2 K_e \epsilon_0 \mu_0 = K_e K_0^2$, $K_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$,

*この論文の内容は大阪大学工学紀要昭和41年4月に発表した。(英文)

B は積分定数。

また、 $y \geq \frac{a}{2}$ では

$$\left. \begin{aligned} H_x &= A \left[\exp -K_{y0} \left(|y| - \frac{a}{2} \right) \right] e^{-jK'_{x0} z} \\ E_y &= -\frac{K_0'}{\omega \epsilon_0} A \left[\exp -K_{y0} \left(|y| - \frac{a}{2} \right) \right] e^{-jK'_{x0} z} \\ E_z &= \mp j \frac{K_{y0}}{\omega \epsilon_0} A \left[\exp -K_{y0} \left(|y| - \frac{a}{2} \right) \right] e^{-jK'_{x0} z} \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 4)$$

ただし、 $K_0'^2 = K_0^2 + K_{y0}^2$ 、 K_{y0} は空気中の y 方向の位相定数、複号は $y \geq \frac{a}{2}$ のとき負、 $y \leq -\frac{a}{2}$ のとき正、 A は積分定数。

つぎに、 $|y| = \frac{a}{2}$ においては H_x と E_z はそれぞれ連続であることから

$$\left. \begin{aligned} A &= B \left(\cos K_{ye} \frac{a}{2} \right) \\ AK_e K_{y0} &= BK_{ye} \left(\sin K_{ye} \frac{a}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 5)$$

ゆえに、

$$K_e K_{y0} = K_{ye} \left(\tan K_{ye} \frac{a}{2} \right) \quad (2 \cdot 6)$$

また、式 (2・3) および式 (2・4) より

$$K_{y0}^2 + K_{ye}^2 = (K_e - 1) K_0^2 \quad (2 \cdot 7)$$

式 (2・6)、(2・7) は超越方程式であるから、つぎのように書換えると図式解法に便利である。

$$\left. \begin{aligned} K_{y0} \frac{a}{2} &= \frac{1}{K_e} K_{ye} \frac{a}{2} \left(\tan K_{ye} \frac{a}{2} \right) \\ \left(K_{y0} \frac{a}{2} \right)^2 + \left(K_{ye} \frac{a}{2} \right)^2 &= (K_e - 1) \left(K_0 \frac{a}{2} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 8)$$

一例として、 $K_e = 2.56$ の場合について式 (2・8) の関係を図2に示す。

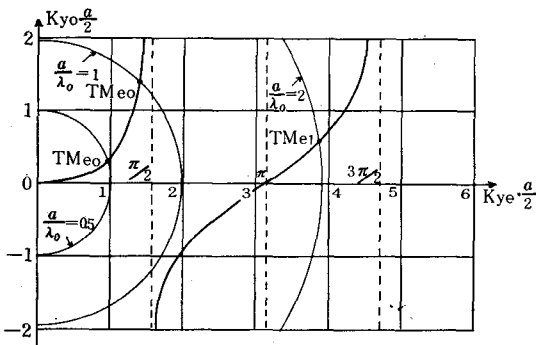


図2. 対称 TM 状態 (TM_{em}) の図式解法例 ($K_e = 2.56$)

さて、 $K_{y0} < 0$ の場合には電磁界は発散するから $K_{y0} > 0$ でなければならない。したがって、解は

$$m\pi \leq K_{y0} \leq \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi \quad (m=0,1,2,3,\dots)$$

において存在する。すなわち、 a が十分大きい、周波数が十分高ければいくつかの姿態が伝送可能である。

しかし、 $m=0$ 以外のすべての高次姿態は、それぞれし断周波数を持ち、 $K_{ye} \frac{a}{2} = m\pi$ 、 $K_{y0}=0$ のとき m 番目の姿態のし断値が与えられる。すなわち、

$$\sqrt{K_e - 1} \left(K_0 \frac{a}{2} \right) = m\pi \quad \text{よりし断周波数は} \quad \left(\frac{a}{\lambda_0} \right)_{co} = \frac{m}{\sqrt{K_e - 1}} \quad (2 \cdot 9)$$

また、式 (2・3) および式 (2・4) より、この表面波の波長 λ'_0 は

$$\left. \begin{aligned} \frac{\lambda_0}{\lambda'_0} &= \left[K_e - \left(\frac{\lambda_0}{\pi a} K_{ye} \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[1 + \left(\frac{\lambda_0}{\pi a} K_{y0} \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 10)$$

これより、各高次姿態のし断周波数では $\lambda_0/\lambda'_0 = 1$ となり、界は真空中を TEM 姿態で伝播し、無限に高い周波数では $\lambda_0/\lambda'_0 = \sqrt{K_e}$ となり、界は誘電体中に集中して TEM 波に近い姿態で伝播することになる。

また、この対称 TM 姿態は $y=0$ において $E_z=0$ であるから、 $y=0$ なる $z-x$ 平面に完全導体板を挿入しても界は乱されない。

2.1.2. 非対称 TM 姿態

この場合は $\left[\frac{\partial H_x}{\partial y} \right]_{y=0} \neq 0$ 。

したがって、式 (2・1) および式 (2・2) より、 $|y| \leq \frac{a}{2}$ では

$$\left. \begin{aligned} H_x &= B' (\sin K_{ye} y) e^{-jK'_{x0} z} \\ E_y &= -\frac{K_0'}{\omega K_e \epsilon_0} B' (\sin K_{ye} y) e^{-jK'_{x0} z} \\ E_z &= j \frac{K_{ye}}{\omega K_e \epsilon_0} B' (\cos K_{ye} y) e^{-jK'_{x0} z} \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 11)$$

ただし、 $K_0'^2 = K_0^2 K_e - K_{ye}^2$ 、 B' は積分定数。

また、 $|y| \geq \frac{a}{2}$ では、

$$\left. \begin{aligned} H_x &= \pm A' \left[\exp \mp K_{y0} \left(y \mp \frac{a}{2} \right) \right] e^{-jK'_{x0} z} \\ E_y &= \mp \frac{K_0'}{\omega \epsilon_0} A' \left[\exp \mp K_{y0} \left(y \mp \frac{a}{2} \right) \right] e^{-jK'_{x0} z} \\ E_z &= -j \frac{K_{y0}}{\omega \epsilon_0} A' \left[\exp \mp K_{y0} \left(y \mp \frac{a}{2} \right) \right] e^{-jK'_{x0} z} \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 12)$$

ただし、 $K_0'^2 = K_0^2 + K_{y0}^2$ 、 A' は積分定数、複号順は $y \geq \frac{a}{2}$ 、 $y \leq -\frac{a}{2}$ 。

つぎに、 $|y| = \frac{a}{2}$ において H_x と E_z はそれぞれ連続であることから

$$\left. \begin{aligned} A &= B \left(\sin K_{ye} \frac{a}{2} \right) \\ AK_e K_{yo} &= -B K_{ye} \left(\cos K_{ye} \frac{a}{2} \right) \end{aligned} \right\} (2 \cdot 13)$$

これより,

$$K_e K_{yo} = -K_{ye} \left(\cot K_{ye} \frac{a}{2} \right) \quad (2 \cdot 14)$$

また, 式 (2・11) および式 (2・12) より式 (2・7) の関係が得られる。

式 (2・14), (2・7) は超越方式であるから, つぎのように書換えると図式解法に便利である。

$$\left. \begin{aligned} \left(K_{yo} \frac{a}{2} \right)^2 + \left(K_{ye} \frac{a}{2} \right)^2 &= (K_e - 1) \left(K_0 \frac{a}{2} \right)^2 \\ K_e K_{yo} \frac{a}{2} &= -K_{ye} \frac{a}{2} \cot \left(K_{ye} \frac{a}{2} \right) \end{aligned} \right\} (2 \cdot 15)$$

一例として, $K_e = 2.56$ の場合について, 式 (2・15)

の関係を図3に示す。

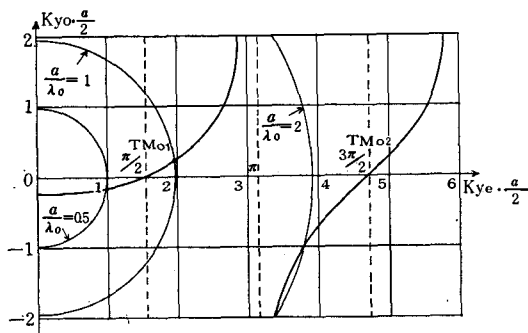


図3. 非対称 TM 状態 (TMom) の図式解法例 ($K_e = 2.56$)

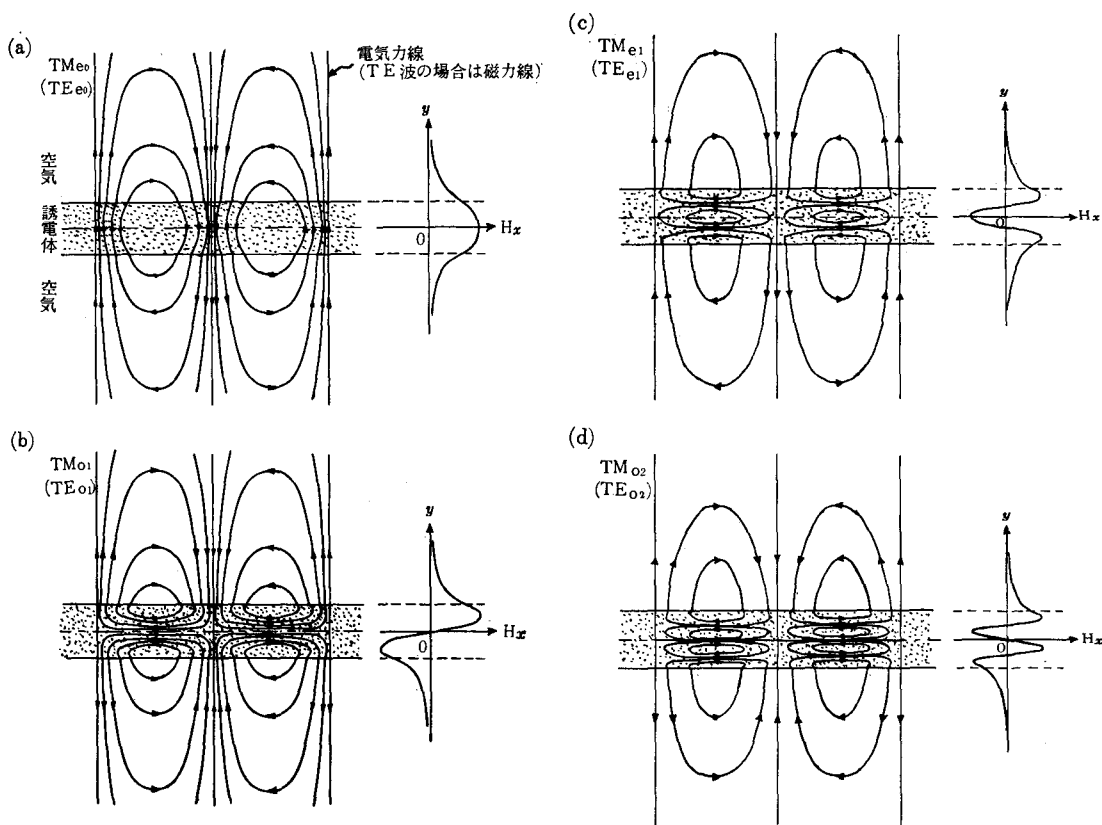


図4. TM 状態の電界分布

さて, 対称 TM 状態の場合と同様の考えで

$$\frac{2m-1}{2} \pi \leq K_{ye} \frac{a}{2} \leq m\pi \quad (m=1, 2, 3, \dots)$$

のとき非対称 TM 状態が存在する。この状態の m 番目の

高次状態のしゃ断値は

$$\left(\frac{a}{\lambda_0} \right)_{co} = \frac{2m+1}{2\sqrt{K_e-1}} \quad (2 \cdot 16)$$

この非対称 TM 状態は $y=0$ において $E_z \neq 0$ であるか

ら、 $y=0$ なる x - z 平面に完全導体板を挿入すると、この姿態は存在しなくなる。

いま、対称および非対称 TM 姿態の高次姿態をそれぞれ TM_{em} および TM_{om} で表わし、二三の姿態について電磁界の分布を示せば図4のごとくなる。

2.2. TE 姿 態

TE 姿態の場合の電磁界の各成分は、式(2・1)において $E_z=0$ とおけば、対称、非対称のいずれにおいても、形式的に E と H とを入れかえたものに完全に一致する。したがって、高次姿態のしゃ断値は TM 姿態の場合と同一となる。

さて、 $|y|=-\frac{a}{2}$ における境界条件、すなわち、 H_y および H_z がそれぞれ連続であることからつぎの式が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} K_{y0} \frac{a}{2} &= K_{ye} \frac{a}{2} \tan\left(K_{ye} \frac{a}{2}\right) \\ K_{y0} \frac{a}{2} &= -K_{ye} \frac{a}{2} \cot\left(K_{ye} \frac{a}{2}\right) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{〔対称姿態〕} \\ \text{〔非対称姿態〕} \end{array} \quad (2 \cdot 17)$$

式(2・17)を式(2・6)、(2・14)と比較すれば K_{y0} の値は TE 姿態の方が TM 姿態よりも大である。すなわち、誘電体板中では、 TE 姿態の方が TM 姿態より界の集中度がよい。

TE 姿態の電磁界の分布は、図4において、電気力線と磁気力線とを入れかえたものになる。ただし、 TM 姿態の H_x と TE 姿態の E_x とは方向が逆である。

3. 誘電体板上の表面波の合成

図5の座標系および諸記号を参照して y = 一定 なる

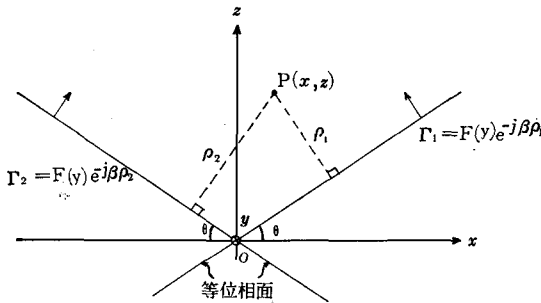


図5. 2つの平面波の合成

平面上、 x 軸に対してそれぞれ θ なる角度で進行する2つの平面波 (Γ_1 および Γ_2) の合成を考える。

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_1 &= F(y)e^{-j\beta\rho_1} \\ \Gamma_2 &= F(y)e^{-j\beta\rho_2} \end{aligned} \right\} \quad (3 \cdot 1)$$

ただし、 β は位相定数。

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= z \cos\theta - x \sin\theta \\ \rho_2 &= z \cos\theta + x \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (3 \cdot 2)$$

いま、 Γ_1 および Γ_2 の波面が原点 O にあるとき、両波が同位相 (対称波) であれば、点 $P(x, z)$ におけるそれらの合成波 Γ は

$$\Gamma = 2F(y) e^{-j\beta z \cos\theta} \cos(\beta x \sin\theta) \quad (3 \cdot 3)$$

また、両波が逆位相 (非対称波) であれば

$$\Gamma = j2F(y) e^{-j\beta z \cos\theta} \sin(\beta x \sin\theta) \quad (3 \cdot 4)$$

ここで、式(3・3)において Γ の値を零にするような x の位置に、 y - z 面に平行に無限にひろがった完全導体板を置いても界は乱されない。このような x の値を $x = \pm \frac{b}{2}$ とすれば、

$$\beta \sin\theta = \frac{n\pi}{b} \quad (n=1, 3, 5, \dots) \quad (3 \cdot 5)$$

ゆえに、 Γ_1 と Γ_2 との2つの波は図6のように、間

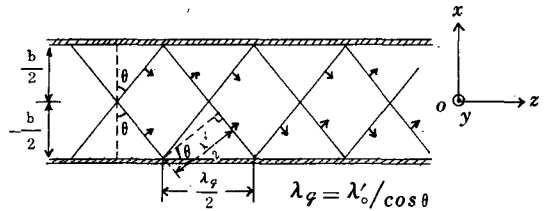


図6. 2つの平面波の合成による平行導体板間の伝搬

隔 b なる 2 枚の完全導体板間をいくども反射を繰返しながら伝搬すると考えることができる。

さて、図5の座標系のもとに、式(3・1)の $F(y)$ の値の代りに、 E_x' , E_y' , E_z' , H_x' , H_y' および H_z' なる各成分波を考え、これらの各々の合成波 (対称波) を作ればつぎのごとく表わされる。

$$\left. \begin{aligned} E_x &= E_x' \cos\theta \cdot \sin(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ &= jE_z' \sin\theta \cdot \sin(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ E_y &= E_y' \cos(xK_x) e^{-jK_z z} \\ E_z &= E_z' \cos\theta \cdot \cos(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ &= jE_x' \sin\theta \cdot \cos(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ H_x &= H_x' \cos\theta \cdot \cos(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ &= jH_z' \sin\theta \cdot \cos(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ H_y &= H_y' \cdot \sin(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ H_z &= H_z' \cos\theta \cdot \sin(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \\ &= jH_x' \sin\theta \cdot \sin(xK_x) \cdot e^{-jK_z z} \end{aligned} \right\} \quad (3 \cdot 6)$$

ただし、 $K_x = \beta \sin\theta$, $K_z = \beta \cos\theta$ 。

式(3・6)中の各成分波として、式(2・3), (2・4), (2・11) および (2・12) の値を用いて整理すれば式(3・6)は *J.W.E. Griemsmann* 氏の対称

波に関する式と全く一致する。各成分波が逆位相すなわち非対称波の場合についても同様である。これより、 H 線路の伝送姿態は、誘電体板上の表面波の合成により求められることが確かめられ、物理的考察が容易となった。

4. H 線路の伝送姿態

図7に示すような H 線路の伝送姿態には、 TMS 姿態

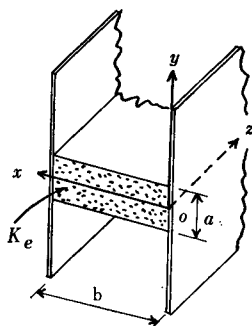


図7. H 線路の座標系

と TES 姿態とがあり、それらはまた、各々、対称と非対称とに類別される⁽³⁾。ここでは、これら H 線路の各姿態を、表面波合成という観点から考察する。

ここで、図7の座標系にしたがって、これまでに述べた表面波の各式を用いることにすれば、各式中の $\sin(x \cdot K_x)$ を $-\cos(x \cdot K_x)$ にまた、 $\cos(x \cdot K_x)$ を $\sin(x \cdot K_x)$ に、それぞれ変換する必要がある。

4.1. TMS 姿態

TMS 姿態は、表面波の TM 姿態の合成により得られるもので、 $H_y=0$ であるから伝送方向である z 軸方向の電流は存在しない。このため、平行導体板による伝送電力の損失は小さく、伝送線路としての H 線路では主としてこの姿態を用いる。

式(2・3)、(2・4)および(3・6)を用いれば、対称 TMS 姿態の電磁界分布は位相項 $e^{jK_z z}$ を省略してつぎのように表わされる。

$$|y| \leq \frac{a}{2} \text{では、}$$

$$\left. \begin{aligned} E_x &= -E_0 \left(\frac{n\lambda_0}{2b} \right) \left(\frac{K_y e}{K_0 \tau} \right) \cos \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \sin(K_y e y) \\ E_y &= E_0 e \sin \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \cos(K_y e y) \\ E_z &= jE_0 e \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \left(\frac{K_y e}{K_0 \tau} \right) \sin \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \sin(K_y e y) \\ H_x &= -\frac{E_0 e}{\eta_0} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \frac{K_e}{\tau} \sin \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \cos(K_y e y) \\ H_z &= j \frac{E_0 e}{\eta_0} \left(\frac{n\lambda_0}{2b} \right) \frac{K_e}{\tau} \cos \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \cos(K_y e y) \end{aligned} \right\} \quad (4 \cdot 1)$$

ただし、 $\left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + K_y e^2 + K_z^2 = K_e K_0^2$, $K_z \left(= \frac{2\pi}{\lambda_z} \right)$ は H 線路の z 方向の位相定数、 $E_0 e = [Ey]_{x=0, y=0}$, $\eta_0 \left(= \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \right)$ は自由空間の特性インピーダンス。

$$|y| \geq \frac{a}{2} \text{では、}$$

$$\left. \begin{aligned} E_x &= \mp E_0 \left(\frac{n\lambda_0}{2b} \right) \left(\frac{K_{y0}}{K_0 \tau} \right) \cos \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \exp \left[\mp K_{y0} \left(y \mp \frac{a}{2} \right) \right] \\ E_y &= E_0 \sin \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \exp \left[-K_{y0} \left(|y| - \frac{a}{2} \right) \right] \\ E_z &= \pm jE_0 \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \left(\frac{K_{y0}}{K_0 \tau} \right) \sin \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \exp \left[\mp K_{y0} \left(y \mp \frac{a}{2} \right) \right] \\ H_x &= -\frac{E_0}{\eta_0} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \frac{1}{\tau} \sin \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \exp \left[-K_{y0} \left(|y| - \frac{a}{2} \right) \right] \\ H_z &= j \frac{E_0}{\eta_0} \left(\frac{n\lambda_0}{2b} \right) \frac{1}{\tau} \cos \left(\frac{n\pi x}{b} \right) \exp \left[-K_{y0} \left(|y| - \frac{a}{2} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4 \cdot 2)$$

$$\text{ただし、} \quad \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - K_{y0}^2 + K_z^2 = K_0^2,$$

$$|E_0| = [Ey]_{x=0, y=\pm a/2} \text{(空气中)}, \text{複号順は } y \geq \frac{a}{2}, \quad y \leq -\frac{a}{2}$$

$$\tau = \left(\frac{K_0}{K_e} \right)^2, \quad 1 \leq \tau \leq K_e.$$

また、 z 方向の波長を λ_g とおけば、式(2・10)、(4・1)および(4・2)より

$$\lambda_g = \left[\left(\frac{1}{\lambda_0'} \right)^2 - \left(\frac{n}{2b} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4 \cdot 3)$$

つぎに、特性方程式は $|y| = \frac{a}{2}$ における界の連続性より求められるが、誘電体板上の表面波の場合と同じである。 τ を用いて表わせば、

$$\tan \left[K_0 \frac{a}{2} (K_e - \tau) \right] = K_e (\tau - 1) (K_e - \tau)^{-\frac{1}{2}} \quad (4 \cdot 4)$$

x 方向のしゃ断波長は式(4・3)より

$$\lambda_{0'co} = 2b/n$$

y 方向のしゃ断波長は、表面波の場合の式(2・9)と同じである。

この対称 TMS 姿態においては、 $y=0$ の面における横方向のインピーダンス E_x/H_z 、或は E_z/H_x は零である。ゆえに、この面にインピーダンス零の導体板を挿入しても、界は影響を受けない。このことは、表面波の場合からも容易に理解される。

非対称 TMS 姿態の場合の電磁界分布は、表面波の非対称 TM 姿態を合成して得られる。この姿態の特性方程式は、 τ をもちいてつぎの様に表わすことができる。

$$K_e \tan \left[K_0 \frac{a}{2} (K_e - \tau) \right] = -(K_e - \tau) (\tau - 1)^{-\frac{1}{2}} \quad (4 \cdot 5)$$

また、この非対称姿態では、 $y=0$ の面における横方向のインピーダンスは無限大であり、このためこの面に

導体板を挿入すればこの状態は存在しなくなる。

TMS 状態のしゃ断波長は、対称、非対称のいずれの場合においてもそれぞれ独立に与えられるが、実際にはこれらの小さな方の値を採用する。

4.2. TES 状態

TES 状態は、対称、非対称のいずれにおいても *TMS* 状態の場合と同様に、それぞれ表面波の場合の *TE* 状態の対称ならびに非対称状態を合成して求めることができる。この状態は $H_y \neq 0$ であるから、 z 軸方向に電流が流れ、波長が短くなるにしたがって導体板による伝送電力損失が大きくなる。しかし、表面波の場合において述べたように、界の集中度はよい。

また、表面波の場合における *TE* 状態波は、二枚の平行導体平板間を *TEM* 状態波が伝はん可能であるのと同

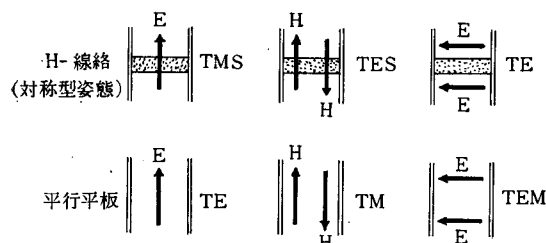


図8. H-線路と平行平板との対応

様に、*H* 線路においてそのまま伝はんする。この *TE* 状態のうち零次の対称 *TE* 状態は、しゃ断波長が無限大であるから *H* 線路の基本状態である。

TES 状態の特性方程式は、 τ をもちいて表わせばつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \tan\left[K_0 \frac{a}{2}(K_e - \tau)\right] &= (\tau - 1) \left(K_e - \tau\right) \\ \tan\left[K_0 \frac{a}{2}(K_e - \tau)\right] &= -(K_e - \tau) (\tau - 1) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{〔対称状態〕} \\ \text{〔非対称状態〕} \end{array} \quad (4 \cdot 6)$$

x 方向および y 方向のしゃ断値は *TMS* の場合と同様にして求めることができる。

図8に *H* 線路の伝送状態と平行導体平板線路の伝送状態との対称を示す。

5. 結 言

誘電体板上の表面波を合成することにより *H* 線路の界分布が得られることを示すとともに、*H* 線路の伝送状態に関する物理的概念の把握を容易ならしめた。

たとえば、誘電体板上における *TM* 状態波と *TE* 状態波とは同一のしゃ断周波数をもったため、いずれか一方のみを伝送するには、適当な状態波器が必要である。その波器の一例として、 $y=0$ なる x - z 面に完全導体板を挿入することが考えられる。このような処置を施せば、*TM* 状態では対称波、*TE* 状態では非対称波はそれぞれ界に影響を受けずその他の波は取除かれる。したがって、さらに1次以上の状態波がしゃ断域にある低い周波数では、零次の *TM* 状態波のみが伝送されることになる。これらのことは、勿論、*H* 線路における状態波に適応できる。

謝辞 終りに、日頃ご指導いただいている大阪大学工学部板倉清保教授、ならびに有益なご議論をいただいた沖電気工業株式会社原田実郎氏に深謝する。

文 献

- (1) F.J. Tisher, "The H-Guide, A Waveguide for Microwaves", IRE, Conv Record, Vol.4, Part 5, (1956)
- (2) F.J. Tisher, "Properties of The H-Guide at Microwave and Millimeter-Wave Region", PIEE, Jan., (1959)
- (3) J. W. E. Griemsmann, "A Low-loss H-Guide for Millimeter Wavelength", Proc. of the symposium on millimeter waves, (1959)

夢 と 現 実

—クリテックとしてのノリス—

渡 部 定 雄

A romantic vision and hard fact

—Frank Norris as a literary critic—

Sadao WATANABE

今迄、あまり研究家の手懸けていないノリスの文学評論や批評論などを通して、批評家としての彼を眺めてみる。

一言で云って、ノリスを取巻く世紀末の小説は、今日のテレビの役割りを果していた。

世智辛くとも食^こってゆけた当時、テレビの番組(小説)ぐらいは肩の凝らないものでよいではないかという考えが多かった。

この大勢^{たいせい}に逆^{さか}って、ノリスは世界に恥ずかしくない番組を放映するのが制作者(作家)の責任であるというのである。

番組の内容や主題は、固苦しいきまりや、形式を離れた自然のままの裸の人生(ロマンチズムの考え方)を取上げるべきであるとする反面、制作には、それらを視聴者(読者)に正しく、誠実に伝える義務がある上、建築や芸術の場合と同じく、高度の技術と細心の技巧が必要であるとノリスは考えるのである。

いずれにしても、日々の制作作業に最も適した道具は彼独自の解釈による自然主義^{じようみん}(常民の、感情的、本能的な人生を対象とする)であった。というのは、彼によれ

ば、自然主義はアメリカ的リアリズムとロマンチズムという二種の道具の長所を兼ね備えているからであった。

こういった意味では、彼は、矢張り、リアリズムとロマンスの合成を可能とする時代に生を享けていたといえる。

しかしながら、彼は遠い将来、神の加護により、必ず大衆という名の視聴者(読者)自ら、優れた番組を作り出し(本を書き)、良い番組を選ぶ(良書を読む)であろうという楽観的な信念を抱いていた。

つまり、ノリスの文芸批評論は、前世紀と今世紀のアメリカ小説を結ぶ、いわば、リレー衛星の部品であると同時に、ヨーロッパの流れを汲むアメリカの夢のつづきでもあったわけである。

I

ノリスの文学批評論並びに評論は、全部で55編に亘っている。

その範囲は、小説の形式と機能、自然主義¹、リアリズム²、ロマンチズム³の定義、アメリカ小説の体質

附記 本稿は大塚英友会で発表のものと重なるところがあり、大阪大学における昭和四十一年度文部省内地研究員としての研究の一部をなす。

<註> The following abbreviations are used throughout:

FN : Frank Norris

BET : Boston Evening Transcript

FNW : Frank Norris of "The Wave", Introduction by Oscar Lewis (San Francisco: The Westgate Press, 1931)

RN : The Responsibilities of The Novelist (New York Doubleday Page & Company, 1903)

1. a. FN, *FN Weekly Letter* Chicago American, Aug. 3, 1901, p. 5.

b. FN, *Zola as a Romantic Writer*, Wave, XV (June 27, 1896), 3. Unsigned.

2. FN, *A Plea for Romantic Fiction*,

BET, Dec. 18, 1901, p. 14. Republished in RN.

3. a. FN, *Ibid.*

b. FN, *The True Reward of the Novelist*, World's Work, II (Oct., 1901), 1337—394. Republished in RN.

論、名士論、諸作品の狂文^{パロディ}などに及んでいる。

にも拘らず、批評家としてのノリスはあまり深く研究されているとは云えない。

アメリカ自然主義文学の草分けであるといわれるノリスの批評家としての立場をはっきりさせることは、これまで曖昧模糊としていた自然主義の発生や、ロマンチズムの流れと、自然主義の接面に光をあてることにもなる。

従って、ノリスの批評論の研究を進めることによって、ひとり、ノリスのアメリカ文学に占める役割⁵のみならず、彼を取巻く文学が少しでも明らかにできれば幸いである。

功罪を離れて、彼の批評論の相対的価値にもかかわらず、今日まで出版された批評論集は、彼の死後、世に出た「小説家の責任」(1903)にその典刑をえていた。爾来、彼の評論集は、形を換えて版を重ねたが、内容的に大した代り映えは見られない。その上に、この「小説家の責任」をノリスの批評論と考えることは、若干の致命的欠陥に眼をつぶることになる。

というのは、この評論集は、著者により選ばれ、配列されたものでなく、出版者の重要なもの優先という配慮の他は、彼らによって任意に集められたものであるという事である。

つまり、ノリスは「小説家の責任」の編集に何等与り知らなかったばかりか、出版者は、まずその綴りや、句読点、語法まで英国風に変えてしまったのである⁶。

更に、この本からサンフランシスコ・ウェーブ誌、並びに、シカゴ・アメリカ文芸評論誌に掲載された批評論文(1896~7)と、週間文集(1901)が、それぞれ脱落している。前者を欠く「小説家の責任」が1901~2年に書かれた評論に限られていただけに、事、更に重大である。

このようにして、両誌に載せられた諸論文は未研究のまま、日の目を見なかったと云って差支えない。特に、ウェーブ誌の諸論文は、次のような理由によって、見棄てられていた。

ウェーブ誌は少数のスタッフで運営されていた。従って、ノリスの評論の大半には、二、三の執筆者が論陣を張っているように見せるために、匿名あるいは雅号が使われていた。

因^{なみ}に、ウェーブ誌上の22編の文芸批評の中で、8編は彼の署名もなければ、イニシャルもない。その8編のうち2編には、ジャスティン・スタージスという名前がつけられている。これは軽い読みものなどに1897年の初期からノリスがつけていた雅号である⁷と断定してよいように思える。

というのは、1898年の始めに、ノリスがウェーブ誌を去ってからこの雅号が使われなくなった上、ノリスがジャスティン・スタージスの対話を載せると書き送っている、ある婦人への手紙⁸が見ついているからである。

残り6編のうち、4編は論説で匿名であり、あと2編^{レギュラー}は評論であった。

これらの匿名の批評論は、内容、文体、引^{イレージョン}、喩、主題から判断してノリスのものに違いない⁹と思われる。

ノリスの評論又は、批評論を考えるに先立って、それらがどのような思潮や、時代的背景のもとに書かれたかを概観しておく必要がある。

ノリスの生まれた翌年に、ホイットマンの「民主主義の展望」(1871)が世に出ている。彼の10才頃、スペンサーの進化的楽観論と、コントの実証論が文学に影響を与えていた。

この時代、アメリカは超絶主義の名残りを止めながら、建国の理想と新しい科学の間を途惑い、地方文学か国民文学かを決めかねていた。

ノリスの10才から17才(1880~7)は、「リアリズムの勝利」という名のもとに散文の基礎がようやく出来上がり、リアリズムとロマンスの合成力にその妥協点を見出そうとしていた。ハウエルズ、ジェームズ、トウエインなどの初期リアリスト達が、こういった背景のもとで、傑作を残していた。

アメリカの批評論界は、ジェームズの「批評序文」の頃まで、増大する知的、社会的圧力に抗して、主として

4. FN, *Perverted Tales*, Wave, XVI (Dec. 18, 1897), 5-7. Parodies of Kipling, Crane, Harte, Davis, Bierce, and Hope. Signed "FN." Republished in FNW.

5. As to some of FN's works, see my articles, *A moralist in the native idealism* (1) (Nara Technical Junior College Studies No. 1), and *A Crack* (American Literature No. 6, Tokyo, Seibido)

6. Donald Pizer ed., *The Literary Criticism of FN* (Univ. of Texas Press, 1964), p. xxiv.

7. a. Goseph M. Backus, *Gelett Burgess* (Ph.D. dissertation, Univ. of California, 1961)

b. Franklin Walker, *FN A Biography* (New York, Russell & Russell, 1963); p. 129.

8. *Ibid.*, p. 168.

9. a. Pizer, *op. cit.*, p. xxiv.

b. Walker, *op. cit.*, pp. 83-4.

小説の面から、社会の枠内で、芸術家の機能を定義づけようとしていた。

加速的に、唯物決定論や倫理的無関心さに向かう現実の中で、道徳的、かつ、審美的理想主義をいかに扱うかは、作家達の軽^{けいけい}にできない問題であった。

従って、彼等はそれらの合成力——文学的理想と、社会的現実のギャップを調和させようとする方向——を凝視^{ぎよう}せざるを得なかった。¹⁰

ノリスの18才から24才頃は「抗議の時代」にあたり、集産主義の影響をうけ、ユートピアのような夢や、ブルジョア民主主義に対する疑惑にメスをいれようとした文学の動きは、あるにはあった。

ところが、ノリスの24才（1894年）以後、19世紀初期の労働争議や、人民党の反乱が減り、一種の太平ムードが支配していた。

一方、ノリスの20才台（1890年代）には、教育の普及と文化教養面の大衆化によって、新しい読者層が増えてきた。相対的な景気の良さ^{テン・セント・マガジン}と出版手段の改善に伴って、いわゆる、かすとり雑誌や、^{イエロー・ジャーナリズム}「安小説」のような軽い読物が求められた。そして、歴史ロマンス小説——ノリスのいう贗^{にせ}のロマンス小説——や冒険物など逃避文学が流行の波に乗っていた。

こういう状況のもとにあって、ノリスは大衆芸術を高める責任を庶民¹¹に転嫁するやり方に抵抗を感じていた。（「小説家の諸責任」）¹²

彼は大衆に媚びる¹³小説や貴族的文学を避け、人生の小説家の出現を望むのである。

云い換えると、ノリスは真のロマンスを洞察し、贗のロマンスと対決しようとしていたといえる。

ノリスの論文「ビジネスとしての著述業」¹⁴や「小売り

書店」¹⁵ですら儲け主義の贗^{にせ}ロマンス小説を批判している。

これらの論文題名でもわかるように、この時代に、文学評論は次第に現実的分析が増え、抽象的理論が減っていた。

つまり、エマソンの評論に見られるような詩的理想論に替って、芸術上の実際問題が取り上げられつつあった。

従って文芸誌上のノリスの批評論も抽象的なものから、実際的なものに移っている。批評や評論は、ポーの「詩の原理」のような優美な芸術構成とは幾分肌合の違ったものになっていたことは言うまでもない。

最早や庶民には、掛軸か肖像画以上のなものでもなくなったエマソンの倫理と、ゾラの「居酒屋」のリアリティから生ずる鋭角的な違和感が、ノリスにも重くのしかかっていた。

このように極端な道徳的堅実さと、フランスの科学的リアリズムの中にあったアメリカのリアリズムは、だからといって、固有の理想主義を全く忘れ去っているのでもなかった。¹⁶

ノリスはアメリカ小説がイギリス小説ほど評判のよくないことに触れ、10年前（1885年頃）のリアリズムに対する文学的巻き返しから生まれた断層が、アメリカ小説の成長の妨げになっているのに反して、英国では、既にロマンチック小説が多量に生まれている（「我れ我れの不人気なノベリスト達」）¹⁷ことを指摘している。

II

ノリスは、もともと、思想より感情を重んじ、彼の批評論にも一貫性のないところがしばしば見出される。

10. Floyd Stovall ed., *The Development of American Literary Criticism* (The Univ. of North Carolina Press, 1955), p.152.

11. 以下、FNの使う Common people ないし People という言葉は、ホイットマンの使った「民衆」に近く、特にヨーロッパの貴族に対立する「一般の人人」というような広義に解したい。
ホイットマンは「民主主義の展望」の中で、¹⁸「人民の、人民による人民のための政府」を引用したあとで、
「The People! Like our huge earth itself, which, to ordinary scansion, is full of vulgar contradictions and offence, man, viewed in the lump, displeases, and is a constant puzzle and affront to the merely educated classes,……Literature, strictly considered, has never recognized the People……」と云っている。

12. FN, *RN*, Critic, XLI (Dec.1902), 537—40. Republished in *RN*.

13. Fiction may keep pace with Great March, but it will not be by dint of amusing the people.
Quoted in FN, *The Novel With 'A Purpose'*, *World's Work*, IV (May, 1902), 2117—19. Republished in *RN*.

14. FN, *Fiction Writing as a Business*, *BET*, Jan. 1, 1902, p.17. Republished in *RN*.

15. FN, *Retail Bookseller: Literary Dictator*, *BET*, Nov. 20, 1901, p.20. Republished in *RN*.

16. Stovall, *op.cit.*, p.143.

17. FN, *Our Unpopular Novelists: Disappearance of American Fiction from the Book Stores*, *Wave*, XIV (Oct.5, 1895), 7. Signed FN.

しかし、巨視的に見ると、彼の考えは反知性主義の流れの中に捉えられそうな気がする。

もちろん、フランクリン・ウォーカーの中庸的力作「フランク・ノリス伝」に詳しく述べられているように、ノリスの思想には子供染みた熱狂ぶりと、思考より感情を重んずる為^{ひととなり}人が強く窺える。

ただ、このノリス評は、彼が32才の若さで他界し、30才以下の作家は、通常、人生経験に乏しく、物事を慎重に眺める重厚さが足りないという一般常識に欠けているように思われる。

更に、感覚や感情の尊重は、反知性主義の流れに倣^{さお}さすものであって、独り、ノリスの思想の未熟さによるものとのみ断ずるわけにはいかない。

この反知性主義は高邁な哲学や、合理的科学や、荘重かつ薫高き芸術が、戦争という非合理的な感情の高ぶりの前に、いかに無力なものであるかという卑近な歴史によって、その存在価値を問うまでもない。

もし、ノリスの批評論に思想体系があるとすれば、それは原始的^{プリミティブ・アンタインテレクチュアリズム}反知性主義であるといえよう。

ノリスの批評論の面目は、底辺^{おちぶ}の零落れた、情緒と本能に生きる人生の中で、真実のストーリーを描き出そうとするところにある。

彼の求める人生は、文明や似非文化^{フィクステイニズム}を通しては、決して姿を顕さない。

従って、ノリスの価値観は、現代文明に逆う作家の立場を弁護している。(『注文通りの小説家』)¹⁸

直観的な判断が教育や地位の如何にかかわらず万人に存するという考えは、反知性主義全般に通じるが、又、超絶主義者達も、真実の源を直^{イントロイション}観と呼ぶうる内面の感覚の中に見ている。¹⁹

直観という人びとに共通の才知を通して、なまの人生を画くのに、紳士学者や、天才は必要でなく、有触れた路傍の石に題材を求めるとノリスも云うのである。こうした考えをバックボーンにもつ批評体系は、素朴な誠実や真実を尊重する考えに発展する。ノリスは誠実こそ、人為的文学派閥や、流行盲従を斥け、直観を信ずる道標であると感じていた。

誠実に人生を写しとるには、部分的な正確さを伝えるというだけではない。まずもって、自身で辺地の原始

生活に浸りながら紳士学者^{けが}の穢れを洗い落さねばならない。

それが文明の外皮の裏側に潜む人生の心臓部——最も本能的、感情的な人生——を窮めつくそうとするノリスの目的でもあった。

だから、自然主義はこの目的に副い人生を画くための、段階的改善策であつたに過ぎない。

人生を小説に書きあげるために、彼は天才的な芸術家や文明、知性を排除しようとしたことは既に述べてきたとおりであるが、反面、小説の理解力を高めるために、知的洞察力や技巧をもたせようとするのである。

すなわち、一方で、模倣や机上の文学論を退けながら、小説の創作技術や、既成の形式論を認めているのである。

つまり、小説形式に関しては、効果をあげるために、素材の選択や積重ねに高度の技巧性と知的作業が不可欠だというのである。こういった意味においては、本能的、感情的な人生観は無視されているといつてよい。

一見、相反する二面性——すなわち、主題と内容に関しては、貴族的文学を拒否しつつ、人生の本源に迫りながら、形式論においては、高度の技巧性を求めていること——がノリスに見出される。

このようにして、ノリスのいう最高の作家^{ノベリスト}は、文化的原始主義をテーマと内容にもち、小説形式においては、技巧を凝らしていなければならない。

このパラドックス——技巧的原始主義——から、知性より心情に陶醉し、自然の中に生きるハックとジムや、技巧を通して自然美に憧れと真実の探求をこころみたヘミングウェイのような一つの文学的特徴が見出される。

もともと、総べてのロマンチックな有機体主義は、芸術よりも自然を、外見よりも人生を重んじていた。²⁰初期のメルヴィルも他の有機体論者と同じく外見よりも人生に、目に見える精神より、精神そのものを注視していた。²¹

ドライサー、トマス・ウルフなどにも、形式から全く解放された文学と、極端なまでに技巧性を求める文学とが共存している。²²

ノリスの技巧的原始主義は、更に、世紀末の小説とヘミングウェイ、フォークナー、スタインベックとを結ぶ重要な繋^{つなぎ}である²³とも考えられる。

18. FN, *Novelists To Order-While You Wait*, Syndicated, Feb. 23, 1903. Republished in RN.

19. George Boas ed., *Romanticism in America*, (New York, Russell & Russell, 1961), p.201.

20. Stovall, *op. cit.*, p.89.

21. Stovall, *op. cit.*, p.103.

22. Shigehisa Narita, *American Literary Thought*, (Tokyo, Kenkyusha, 1960), p.161.

23. Pizer, *op. cit.*, p. xvi.

斯くて、ノリスはある意味では、文学上、前世紀と今世紀とをつなぐ掛橋であったともいえよう。

そこには、単純で野暮くさくはあるが、本能的に道徳的であり、言葉は率直であからさまであるアダムとしてのアメリカ人の顔も覗いている。

取りも直さず、それは貴族に対置される大衆^{コモン ビーブル}を信じ、文明や知性や芸術を越えた道徳的健全性を称えるホイットマンの明るさにも近いように思われる。

、ホイットマンは形式的に外から付加されたものを退け、独創性を重くみている²⁴が同様に、ノリスは創意や粗削りながらも、新鮮な想像力を啗殺している英文学科のあり方を批判している。

「カルフォルニア大学の英文科」²⁵という論文の中で、ノリスは云っている。二年次になると、文章の一節か^{メタフォー}ら、暗喩の数をかぞえ始め、直喩と暗喩^{シミュレイ}をわけ、結果を検討させられる。ド・クゥインシーの文型とカーライルの文型とを分類し比較させられる。更に年次が進むと、ミルトンやブラウニング研究や17・8世紀のドラマ、英国の喜劇や上級修辞学を研究し、叙情詩とバラッドとを分類し、果てわ14世紀に読まれたとおりのチョーサーの読み方を学ばなければならないばかりでなく、ミルトンの14行詩をもパラフレーズせざるをえない。

ノリスはここで声を高める。文学というものは、テクストや百科全書の論評を抜き読みしてテーマに綴り合わせたり、分類に一步先んじた女性達と、お菓子を囲んで喋りあうことでは断じてない……と。

創造的な作品とは、百科辞典の焼き直しでも暗喩の集計でもない²⁶とノリスは云う。

ヘミングウェイも直喩や、暗喩や、文学的引喩や、感傷的幻想などを嫌っている。²⁶

ノリスは、はっきりした男性的な小説を、おのずから書かなければいけないと云うのが持論であったから、一流雑誌を賑わす論文は、ハーバード大学のゲーツ講座のような書かせる講座から生まれると、彼が結論づけるのは当然のことであった。

なるほど、ノリスの小説形式は厳しい。「小説の技術」²⁷という論文で、先ずのべられているように、小説

を書くには、彫刻、絵画、音楽、演技、建築と同様、高度の技術が必要なのである。

従って、彼のいう小説の組立てには、寺院の建築や14行詩の構成と同じく綿密な科学性がなければならないのである。

彼によれば、これらの建築、構成の法則や規則は、十二分に形式化されていないけれども、厳存し、キプリング、ゾラ、リュウ・ウオレス（先年我国で上映された「ベン・ハー」の原作者）、デッケンズという毛色の変わった作家達がこれらの規則や、法則に従って、それぞれの小説を書きあげている²⁸というのは奇異な感じがする。

しかし、こうした、いわば、異種的な作家群を同一組上で論ずるノリスの小説技術観で篩^{ふる}い落されるのは、間^{スプロ}のびした、^{ーリング}がたがたの小説なのである。²⁹

一見矛盾した彼の小説形式論で、彼が戒めていることは、小説は、総べてが総べて想像の産物でないことと、人生をサロンの文学で包みこんで事足りれりとする安易さである。彼の小説形式の条件をみたすためには、小説家は経験に基いて取材しなければならない。それは経験主義と文学的進化論（芸術、文学、社会環境が本質的に繋がっているという考え）に影響されているように思われる。

更に、キプリングとゾラを結ぶ公約数から推論すると、ノリスは、小説形式に詳細な考証と創造の技術が必要であると云っているように思われる。

彼の評論「小説は選択である」³⁰で、ノリスは一層、彼の形式論の核心をついているように思われる。

この論文は、人生においてはしばしば、^{インプロバブル}ありそうもない^{ファンタジー}ことや、^{フィクション}納得のいかないことが起こるのに、^{フューチャー}小説は、^{プロザ}もっともらしく書かねばならないから、文学的正確さは必らずしも芸術的でないという考えから始まっている。

そこで彼は正確さと真実とを対照させながら、小説技術とは、人間経験のまことを表わすように、経験^{ひとこま}の一駒一駒を選択し、配置することにあると云う。

つまり、事実を正確に積重ねるだけでは立派な小説ができないということである。ノリスは一例として、小説

24. Narita, *op. cit.*, p.91.

25. FN, *The 'English Courses' of the University of California*, Wave, XV (Nov. 28,1896), 2—3. Unsigned.

26. Charles Baker, *Hemingway The Writer As Artist*, (Princeton, New Jersey, Princeton Univ. Press, 1963), p.69.

27. FN, *Fiction Is Selection*, Wave, XVI (Sep. 11,1897), 3. Signed Justin Sturgis.

28. FN, *FN Weekly Letter*, Chicago American Literary and Art Review : June 8,1901,p.5.

29. FN, *Novelist of the Future: The Training They Need*, BET, Nov.27,1901, p.14. Republished in RN.

30. FN, *Fiction Is Selection. op. cit.*

のセンスに欠ける人が「恋の駈落」を一部始終ありのままに話したところで、ただちにそれが良い小説になると考えること自体、噴飯のものであると云っている。

だからと云って、真の人生は小説より奇であり、波瀾に満ち、優れているから、それを実際に取材することを怠ってもならないと云う。

つまり、小説の技術は、ストーリーの部分、部分を^{こしら}え上げたり、想像したりせずその事実を一つずつ^{ひと}真の人生に近づけて選び合わせることにあるというのである。加えて、小説の技術的な正しさは、厳格な追試を経て、立証されなければならない。

すなわち、「そうだ。そのような状況のもとにあって、起り得ることは将にその通りであるに違いない」という大多数の知性人達の確認を経て始めて、そのストーリーは真実のものとなるのである。(「小説の問題」)³¹

これと同時に、ノリスの計算された小説論において、効果の果す役割りを見落してはならない。

彼は、読者に与える効果に関連して、先ず著者と作品の関係を論じている。

サッカーのように舞台の真中に飛出し、語りかけ、説明し意見を述べるのが良いのか、或いはゾラのように決して自身をあらわさず、ストーリー自体を^{せい}生あるもののごとく進めるのが良いかと問いかけたあと、小説において、著者がその中に入りこむと読者の反能を弱めるから、著者の人格をぬき去って、場、筋の運び、登場人物を通してテーマを伝える方が良いと云っている。但し、紀行文、冒険記、印象記などには、著者の人柄が面白ければ、著者が入りこむことも大切であると云っている。

だから、同じ、スティーヴンソンにしても、随筆には彼が必要であるが、小説「^{かどわ}勾かされて」では、彼は不要であるということになる。ノリスは、又、フィクションとノベルとを区別し、後者には、実際の出来事、研究された人物、生じた場面など明らかな状況を求めている。

いずれにしても、画家が自分の作品のかたわらに鞭をもって立ち、それを説明したり、劇作家が演技の真只中で自作の劇を論評する愚かしさが、小説家にもあてはまると云うのである。

感動的な効果をあげる手段として、ノリスは次に簡潔さ——明白な率直さ——が必要であると云う。

云い換えると、小説形式に、客観的な劇的方法と、スタイルの簡潔さを求めている。

皮肉なことに、ノリスの諸作品³²においては、これらの原則は破られているけれども、ヘミングウェイのてきぱき切りとったような、飾り気のない散文や、事物の劇的な描き方などに、ノリスの形式論の面影を宿しているのは興味深い。

ゆったりした、作者の主体性の強い、長ったるい19世紀の小説と、引き締った構文と、客観的な書法の現代小説との交契をノリスの小説形式論は示唆している。

III

ノリスの批評論の^よ因って立つ原始的^{ぜい}反知性主義は、脆弱^{じやく}な、取澄ました偽善文学を退け、なまの、俗っぽい粗野な人生を描くことを目指している。

もともと、感情の本能生活、対、知的生活という二分法はホーソン、ソローやスタインベック、フォークナーに流れていた。

19世紀初頭と20世紀初頭のロマンチスト達の違いがあるとすれば、それは、前者が野放しの産業主義の弊害を批判したのに反して、後者はある程度、その時代の産業や機械化の進歩を信頼していたところにある。

では、ノリスの立場はどうであったろうか。

彼は両者のほぼ中間に位置し、文化的原始主義と機械的進歩の両立にさして痛痒を感じていない。

ということは、彼が原始主義と機械主義との対立を意識していたというよりむしろ、原始主義を青白く洗練された貴族文学のアンチテーゼとしていたということである。

ノリスは機械化よりも、その時代の耽美運動を自己の価値観を脅かすものと感じていた。

当時の耽美主義者達——奇怪な幻想と繊細な文学があるにしても、現実に対する同情と理解に乏しく、従って人生に対する視野の狭い人びと——に、ノリスは荷担できなかった。

90年代のリアリズム対ロマンチズムの論戦よりは、耽美主義と原始主義との対立の方が、彼にとって切実な問題であった。

事実、スティーヴンソン・キプリング派対、ワイルド・ビアズリー（オスカー・ワイルドの「サロメ」のさし絵を画いたことで有名）派の争いで、ノリスがスチーヴ

31. FN. *A Problem in Fiction: Truth Versus Accuracy*, BET, Nov. 6, 1901, p. 20. Republished in RN.

32. Watanabe, *op. cit.*

33. Walter F. Taylor, *The Economic Novel in America*, (Chapel Hill, North Carolina, The Univ. of North Carolina Press, 1942), p. 325.

ンソン派の肩をもっていたことは、「われわれの人気のない小説家達」³⁴という論文の中で、第二のスチーヴンソンやキプリングが、サンフランシスコに出ることを望んでいるのを見ても明らかである。

取りも直さずそれはノリスが物質的な決定論や哲学的概念とは縁遠いということの意味する。だから、彼は、リアリズム、ロマンチズム、ナチュラリズムという主義を超えて自分の考えに徹していた。

従って、彼の批評論を考えてゆくにしても、哲学的立場をとる批評家達や、自然主義運動に現代的解釈をつけたがる人びとの考えを鵜呑みにして、彼を判断することは危険である。³⁵

いずれにせよ、ノリスにとれば、リアリズムは人生の上皮を、細かく、正確に描く手段であり、ロマンチズムは、人生の奥底にある激しい扇情的な、凄まじいエネルギーや、どうも黒い原始的感情にメスを加える方法であった。

こういった意味で、ハウエルズはリアリストの原型であり、ユーゴはロマンチストなのである。

この両者の良いところをもちあわせている自然主義³⁶はノリスにとって、人生を正しく誠実に小説化する格好の方便に過ぎなかった。

ところで、ローロッパの自然主義はアメリカに入って屈折し、変形していた。それは、まるで大きな主題の枠内で、低俗な、扇情的な、入念に考証されたものが自然主義様式であるかのように変体していた。

云い換えれば、アメリカ的自然主義は、題材や技法を、ヨーロッパの自然主義から受継ぎながら、哲学的筋金をとおしていなかった。

そのロマンチックな壮大さ、細かい迫真性、モラリスチックな扇情主義をノリスは自らの作品中に繰り込んだ。

ノリスがゾラをロマンチックであると呼んだのは、ゾラの小説が必ずしも、リアリスチックでないこと³⁷を強調するためのものであった。

ゾラ其自然主義的要素として、めずらしく、ノリスが

遺伝的決定論を認めている論文「ゾラのローマ」³⁸では、古いイタリアの宮殿の内外に展開する恋の物語りを、自然主義の中のロマンスであり、突然遺伝的本能の蘇るベネデタが自然主義の信条に忠実だったのだと云っている。

「ロマンチックな作家としてのゾラ」³⁹という論文では、自然主義はロマンチズムの一形であるという言葉と共に、血と汚物にまみれ、道端に倒れた最下層の人びとのドラマは、ロマンチズムでもリアリズムでもなく自然主義であると結んでいる。

要するに、ノリスにとって、これらのイズムの客観的な定義は第二義的な問題であった。

大切なのは人生を真摯に伝える技術であり、その点、ノリスはゾラ、キプリング、ホートンの描き方を高く評価する。

特にホートンの「ヘレン」は、筋の運びや、ありのままの演出が良いということではなくて、著者の目を通した実際の場合や人物などが素直に小説に語り入れられている点、優れているとされている。

つまり、構成そのものは、ちぐはぐであるけれども、「ヘレン」は作者の個人的経験を通して語られ、ストーリー自体に誠実さと真実とが漂っているというのである。

逆に、当時、洛陽の紙価をもっとも高からしめていたウィンストン・チャーチル（英国の元宰相とは、同姓同名の別人）の歴史小説「危機」を人気とり、無難な模倣品と攻撃し、評判の悪かったゾラや、無名のホートンを讃えるノリスの反骨精神に、彼の批評家としての信条の一端が窺われる。

だからといって、ノリスの批評論の欠点を過少評価するわけにはいかない。特に偏私、偏執からくる直情径行や無論理性に、彼の弱さが見られる。

「キム」における感傷的なインド生活や独り善がりの拡大主義に気づいていない。

とりわけ、クレインの風刺のきいた、^{ドイツツェメント}一步離れたような書きぶりが理解出来ず、それらを感応の足りなさとか、^{せい}軽薄さの所為^{せい}にしている。

34. FN, *Our Unpopular Novelists*, op.cit.

35. a, Lars Ahnebrink, *The beginnings of Naturalism in American Fiction*, (Camb., Mass., Harvard Univ. Press, 1950), pp.vi—vii.

b, Charles C. Walcutt, *American Literary Naturalism, a Divided Stream*, (Minneapolis, Univ. of Minnesota Press, 1956), pp. vii—viii.

36. Boas, op.cit., p.75.

37. F.W.T. Hemmings, *Émile Zola*, (Oxford, Charendon Press, 1953), p.74.

38. FN, *Zola's Rome: Modern Papacy as Seen by the Man of the Iron Pen*, Wave, XV (June 6, 1896), 8. Review. Unsigned.

39. FN, *Zola as a Romantic Writer*, Wave, XV (June 27, 1896), 3. Unsigned.

「スチーヴン・クレインのスラムにおける生活物語り」⁴⁰という論文の中で、ノリスはクレインの処女作「街のマギー」を取り上げ、この作品は「居酒屋」のナナのエピソードの雛型で、何ら新味がなく、人物は他の世界小説の中で顔馴染だと云っている。

クレインのスタイルの魅力は、無数の早取り写真の魅力にすぎず、テーマの深刻さに比べて、マギーの墮落ぶりは軽すぎることも云っている。

一般の批評とは逆に、「ジョージの母」をノリスは、高く買い、この作品は短編としてけれんみなく、人物を絞り、纏まりをみせていると云っている。

クレインの傑作「勇気の赤い徽章」の人物をノリスはタイプであると云い、ストーリーがあまりにも実際の人生から掛離れているのを、クレインの共感の乏しさのためであると考えている。

こうしたノリスのクレイン評は、つまるところ、クレインの諷刺の鋭さや、客観性がノリスには理解できなかったことを示めている。

ではノリスとクレインの相違はどこから生まれたのだろう。それは、ノリスの心の片隅に残っていた理想主義的楽観論やロマンチズムの残夢がクレインより強かったためであると思われる。

たしかに、ノリスは理想的な夢から離れることはできなかった。

彼は夢を大衆の成長に託し、自然の美しさや、永遠の善を信じていた。

「塩と誠実」⁴¹で、彼は大衆はつまるところ正しい、と云っているし、偽作家は自から生涯^{だま}騙し込めるが、偉大な大衆は一度しか騙されない（「小売り書店・文学の独裁者」）⁴²とも云っている。

彼は大衆の健全さを信じ、権力に^{おも}阿ねず、善は最後にはいかなる悪や障害にも打ち勝って前進するという素朴な信念をもっていた。

彼にとっては、真実や誠実は善であり、模倣や偽瞞は

悪であった。それは理屈でも理論でもなかった。

『アメリカの公衆と大衆小説』⁴³という論文では、真の名作や真実の文学が大量に出廻る日がきつと来ると云切り、「ビジネスマンとしての作家」⁴⁴では出版経営には、苦難と不正が付物であるけれども、全体として、優れた原稿が出版され、結局、誠実な作家は報酬をうけ、模倣者は滅びるという超論理的、理想主義的な考えを打出している。

更に、職業を真面目に考え、見たままの人生を、正しく、誠実に表現すれば、直ちに認められなくとも、やがて衆目の見るところとなるだろう（「知られざる著者と出版者」）⁴⁵とも云っている。

さて、こういった考えがヘミングウェイに生きているのは興味あることがらである。

たとえば、ヘミングウェイは見たまま、感じたままを誠心誠意、簡潔に、巧みに表現すること⁴⁶に小説の意義を見出している。

ところで、ヘミングウェイは三つの虚偽⁴⁷——感情の虚偽、無感動の虚偽、活動写真撮影機の虚偽——を避けようとしている。

ノリスも「小説の問題」⁴⁸という論文の中で、肉親の不幸に会った人の例をあげ、その際の言葉と身振りを克明に描いても、偽りで、不誠実のような印象を与えるかもしれないと云っている。

ノリスに従えば、人生をそのままに云いつくすのは、いかなる小説家や芸術家にとっても不可能に近く、写真や科学ですら、同一事実同一印象を与えることは至難であると云う。では、彼らはいかに不可能を可能に近づけたか？「見たものぞ知る」というヘミングウェイの座右の銘にも醜悪さを合わせのんだ真実の経験を受する心情が秘められている。そこには、内部から照し出される自然美への愛もあった。⁴⁹

ノリスはヘミングウェイと同様、自然や動物の中に、美と誠実を見出していた。

40. FN, *Stephen Crane's Stories of Life in the Slums: Maggie and George's mother*, Wave, XV (July 4, 1896), 13. Review of Maggie and George's Mother. Unsigned.

41. Quoted in FN, *Salt and Sincerity*, Critic; XLI (July, 1902), 77—81. In the last analysis, the People are always right.

42. FN, *Retail Bookseller*, op. cit.

43. FN, *The American Public and 'Popular' Fiction*, Syndicated, Feb. 2, 1903.

44. FN, *Fiction Writing as a Business*, op. cit.

45. FN, *The Unknown Author and the Publisher*, World's Work, I (April, 1901), 663—5. Signed 'A Publishers' Reader.

46. "Put down what I see and what I feel in the best and simplest way I can tell it".

47. Quoted in Samuel Putnam, *Paris was over mistress*, (New York, 1947), pp. 128—9.

48. FN, *A Problem in Fiction*, op. cit.

49. Baker, op. cit., p. 69.

彼は、『文学における『自然』の再生』⁵⁰という論文の末尾で、北英国の牧羊犬の誠実さ、コロラドの大草原の狼の知性、そして、オンタリオの森林地の雄大鹿^{ムース}の死闘に引かれる民衆の心を画いている。

ヘミングウェイも又、その角が胡桃の実のように褐色で、その匂いが雨に洗われた『たちじやこう』^{かおり}の薫のような雄縞羚羊^{しまかもしか}の死を画きあげている。

素朴な自然への憧れは、ヘミングウェイにとっても、真実との語らいであった。

ノリスの考える究局的な美は、人工的な精緻さではな

く、飾り気のない裸の姿であり、小説には、『いかさま』^{シヤミング}「まがいもの」や「ぺてん」^{シヨダイニング}によるいかなる粉飾も無用の長物であった。〔芸術における簡潔さ』^{ハンパツグ}^{かたく}〕⁵¹

自然の知恵に保護をもとめ、頑なな社会の因襲や、形式に飽き疲れたロマンチスト達の長い夢——汚れなき高貴な野蕃人の実験——をノリスも試みていたのではなかろうか。

自らのまわりを拘束する人工生活を解こうと戦い、原始人の素朴さに帰えろうとしたワーズワスの声^{ほど}^{かす}⁵²も、幽かにノリスの批評論から聞えてくる。

50. FN, *The 'Nature Revival in Literature'*, Syndicated, Feb. 16, 1903. Republished in RN.

51. FN, *Simplicity in Art*, BET, Jan. 15, 1902, p. 17. Republished in RN.

52. Perry Miller, *The Transcendentalists*, (Harvard Univ. Press, 1950), p. 98.

「マーディ」に於けるメルヴィルの変貌

即 席 水 雄

Melville's Metamorphosis in *Mardi*

Mizuo SOKUSEKI

ハーマン・メルヴィル (Herman Melville) が彼の文学のよき理解者、友人でもあった。ニューヨークの文芸誌リテラリー・ワールド (*Literary World*) の編集者エバート・ダイキンク (Evert Duyckinck) にあてた手紙の中には次のような文章が見られる。

もし、私が「マーディ」を書き、出版していなかったら、多分、今程賢明にはなっていないでしょう。^(註1)

「賢明になる」という言葉をこの場合、メルヴィルが如何なる意味に使っているかは興味のある問題ではあるが、いまは触れまい。しかしこの文から、「マーディ」の執筆が作家としてのメルヴィルに如何に重大な意味を持つ事件であったかは充分推察もできよう。

「マーディ」はメルヴィルが職業作家として身を立てる決心のもとで書きあげた最初の作品である。と同時に、序文にも明記されているように、ロマンス作家としての自覚のもとで執筆した最初の作品でもあった。したがって「マーディ」の不評が、「タイピー」(*Typee*)、「オムー」(*Omoo*) という旅行譚の作家として一種の盛名を馳せていたメルヴィルに多くの教訓を与えたことも当然であろう。メルヴィルは上に引用したダイキンクにあてた手紙の中でも、読者に率直でありえない作家の苦悩を訴え、「マーディ」に続いて出版した「レッドバーン」(*Redburn*) の成功は喜びながらも、嬉しいのは「それが空の財布に金を満してくれるからで、再びそんな本は書きたくない」と当時の心境をもらしたりしている。

ぼくは25才まで全く成長を知りませんでした。25の年からぼくは自分の年令を数えています。それから今日に至るまで私の心の中で何かが開花せずに三週間もすぎるといふようなことは殆んどありませんでした。^(註2)

とは、メルヴィルが後にホーソン (Nathaniel Haw-

thorne) に書き送った手紙の一節である。当時このような緊張した精神で思索生活を送っていたメルヴィルにとって、生活の資をうるためとはいえ、「マーディ」で試みた野心的な作風を捨て、再び自己の体験に基づく「レッドバーン」のような作品を書かなくてはならなかったことは耐えられないことであったのであろう。

メルヴィル自身は、不評とはいえ「マーディ」の作品としての価値にはあくまでも自信を持っていたらしい。妻エリザベス (Elizabeth) の父レミュエル・ショー (Lemuel Shaw) にあてて次のように書き送ったりもしている。

「これには何んの意味もない」とユークリッドの第1巻第47問を投げ出して馬鹿者は叫んだものです。「これには何んの意味もない」と。この作品にまごついた批評家にとっても同じことです。しかしすべての謎の解明者である時が、やがては「マーディ」をも解いてくれるでしょう。^(註3)

ともあれ「マーデー」は作家としてのメルヴィルに重要な転機を与えた作品であった。その追求する主題、背景をなす思想、世界観に於ては、「モウビー・ディック」(*Moby Dick*)、「ピエール」(*Pierre*) に直接連なる作品でもあった。このことは「マーディ」を論ずる殆んどすべての論者の一致する見解でもある。実はこの小論の表題も、次のような「マーディ」を論じた一文の言葉を借用したものである。

我々は「マーディ」に於て、比較的単純で直截な冒險旅行談の作家から、技法としてシンボリズムを深く念頭におき、その主要な関心が人類の当面する最も深遠、かつ緊急な問題である作家へのメルヴィルの突然の変貌をみる。最も重要なことは、「マーディ」の芸術的価値や欠陥が如何なるものであれ、この作品には驚くべきほどの叡智が含まれていることである。例えば、ヴィヴィエンザ (アメリカ) と、その

将来の問題についてのメルヴィルの評価はその後の歴史の歩みによって実証されている。^(註4)

確かに「マーディ」の持つ重要性は、上記の文でも述べられているように、それが芸術的に優れた作品であるかどうかにあるのではなく、あくまでもこの作品が含む思想の深さ、世界観の特異性にあるといえよう。作品の芸術的完成度といった点のみをとってみれば、「マーディ」はメルヴィルの作品中最も調和を欠いた作品になっているともいえる。この意味では「タイピー」、「オムー」の作家から「モウビー・ディック」の作家への変貌は容易なことではなかった。しかし「マーディ」は前にも述べたように追求される主題、背景の思想、世界観、或いは象徴的技法といった点で「モウビー・ディック」、「ピエール」と軌を一にする興味ある作品となっている。この小論では主として、その作家としてのメルヴィルの変貌の要因と、それが「マーディ」で如何に跡づけうるかを考察してみたい。

周知のように「マーディ」は、「タイピー」、「オムー」に続くメルヴィルの第三作である。「タイピー」、「オムー」のメルヴィルは、自己の体験をロマンティックに潤色して描いているとはいえ、あくまでも旅行譚の作家であった。「マーディ」も最初の予定では「オムー」に続く南海に於ける冒険の事実談となるはずであった。それは恐らく、メルヴィルも言うように、^(註5) 1837年3月の「オムー」の出版直後に起稿され、翌1848年の春か、遅くとも秋までには完成することになっていた。その「マーディ」が現在我々が見るような作品に仕上げられたことについては、次のような事情があった。これは可成り書き進んでいたはずの捕鯨ロマンスが、再び書きたされて現在のような作品となったと信じられている。「モウビー・ディック」の制作事情とも考え合せて興味があろう。メルヴィルは作品も完成間近かなはずの1848年3月、英国の出版業者ジョン・マリー^(註6) (John Murry) にあてて次のような手紙を送っている。長いので要約すると、

(1)以前、次作は「オムー」の続篇ともいうべき、南海冒険の事実談となると予告していた。しかし予定を変更してそれを本格的な冒険のロマンスとして出版したい。

(2)その主な理由は、いままで度々仮面をかぶったロマンス作家と決めつけられたが、自分の書く本格的なロマンスは「タイピー」、「オムー」などとは全く違った作品であることを証明したいということである。(「マーディ」には同じ趣旨のことが序文として附してある)

(3)また、いままで将来に期して実際に手がけてはいないが、常々ポリネシアはロマンスや詩の形式にのみふさ

わしい詩的素材をふんだんに提供してくれるとも考えてきた。そして今まで通りに事実談を書き続けるうりにどうしても我慢できず、思い切って本格的ロマンスを書き始め、それも可成り書き進んでいる。

(4)新しい作品の構成は、例えば先ず「オムー」のように、事実談とも思えるように始まり、やがてはロマンス的、詩的要素が徐々に加わり、遂には奔放な、しかも意味深長な物語となる。

更に同じ手紙に、次のように書き添えてもいる。

ある方面では、その内容に少なからぬ疑念が持たれた二冊の旅行譚にすぐ続いて、ロマンスと銘打った作品を出版するのは得策かどうかといった点については私はちっとも問題にしていません。私の本能がロマンスを出せというのであり、本能こそ予言的で、後天的な知恵よりましなものではないでしょうか。

かくして「マーディ」は起稿されてから二年近くたった1849年1月になってやっと完成している。「マーディ」の出版に続いてメルヴィルは、その年の10月中旬までに「レッドバーン」、「ホホワイト・ジャケット」(*White Jacket*) という可成りの分量の二冊の作品を書きあげている。このようなメルヴィルの筆力から考えても、「マーディ」の制作には多大の苦心が払われたことが容易に想像できよう。

「マーディ」はメルヴィルがマリーに告げている構想通りに、三つの部分、というより三つの物語から成り立っている。即ち、(1)捕鯨船を逃れ、後にタジ(Taji)と呼ばれるアメリカの青年水夫「私」と老ジャール(Jarl)の漂流譚、(2)タジが僧侶アリーマ(Aleema)から救出した後、再び失踪する幻のような金髪の少女イイラ(Yillah)を探索する物語、(3)タジが分身とも考えられるオド(Odo)の島の王ミーディア(Media)と三人の家臣、哲学者ババランジャ(Babbalanja)、歴史家モハイ(Mohi)、詩人ユーミィ(Yoomy)と共にイイラを探しながら訪れる島々によって代表される、国家、思想、社会制度を諷刺する一種の諷刺譚、以上三つの物語である。これ等三つの物語は、常識的にも範疇を異にするものであり、それが必ずしも明確な内面的連関を持たずに接合されているところに「マーディ」が作品として何か不自然で、調和を欠く最大の原因がある。主人公タジもマーディの島々を巡る諷刺譚の部分では、ミーディア、モハイ、ユーミィ、特にババランジャにその人格を完全に譲り渡し、最後の四章を除いては極めて非人格的な説話者として物語の背景にとどまっているにしかす

ぎない。そしてその説話者としての役割をも往々にして作者によって奪われている。もっとも最後の四章は(2)のイラを探すタジの物語に含まれるものであろうが。これは「モウビー・ディック」でイシュメエル(Ishmael)が多くの章で説話者として感じられず、作者が代って物語を語っているのと同様で、登場人物への作者自身の思想、感情の過度の注入が作品の芸術性を低くしている典型的な例であろう。メルヴィルの「モウビー・ディック」を論じながら、その構成についてモーム(W. Somerset Maugham)は、次のように述べている。

メルヴィルはフランス人が「一貫した精神」と呼ぶものを欠いていた。この小説は構成がよくととのっているなどと主張するのは馬鹿げたことだろう。しかし、いま見られるような形にメルヴィルがそれを仕上げたのは、そういう風に書きたかったからにほかならない。この作品を受け入れる、入れないは読者がきめなくてはならない。^(註7)

果して、メルヴィルがモームのこのような意味で「一貫した精神」を欠いていたかどうかについては様々な異論であろう。しかし少なくともメルヴィルが、自己の想像力や、芸術作品の限界を設定し、緻密な構想のもとに筆を進めるといった作家でなかったことは事実である。この点では、例えば「七破風の家」(*The House of the Seven Gables*)の序文で、自己のロマンスについての概念を明確に規定しているホーソンなどとは可成り違っていたといえよう。メルヴィルは芸術作品を完成されたものとしてよりはむしろ創造の過程に、構成という容器よりも心の真実という内容に重きを置く作家であった。「タイピー」、「オムー」、「マーディ」、「モウビー・ディック」、「ピエール」と、野蕃と文明、善と悪、神と人間といった宇宙や人間性の核心に迫る解きがたき主題を追い続け、不条理な人間経験の背後に真理の世界、真のリアリティの世界を常に求め続けたメルヴィルにとって、一つの作品は常に思索の過程であり、結果ではありえなかったであろう。そして誰よりもメルヴィルは、想像力のおもむくままに筆を進めて行く靈感の作家でもあった。「マーディ」でも「コズタンザ」(Koztanza)と呼ばれる偉大な作品を書いたロムバード(Lombard)について、メルヴィルはバランジャに次のように語らせている。

ロムバードは作品を書き始めたとき、それがどんな作品になるか知らなかった。彼は構想をたてて自己をつぎ込んだ訳ではない。ただ書き続け、そうするうちに自己の中に益々深く没入して行ったのであ

る。そして決然として踏み込みがたい森に突き進んで行った旅人のように、遂には労をむくわれたのである。「時を遅えず」と彼は自伝で語っている。「私は甘い香りや、囀る小鳥、はげしい嘆き、ふざけた笑い声、予言的な声に満ち溢れた、穏かな、うらかな、魅惑的な土地に出た。遂にここまで来た」と彼は叫んだ。^(註8)「私は創造的なものを創造したのだ」と。

メルヴィルの作品にはよく、その作品を解明する鍵の役割を果たすと思われる章が含まれている。「モウビー・ディック」に於けるマップル神父(Father Mapple)の「説教」(The Sermon)^(註9)の章、「ピエール」のプリンリマン(Plinlimmon)のパンフレットなどがこれにあたるものだろう。「マーディ」に於てもこの「コズタンザ」の章は、内容とはいえないにしても、「マーディ」の創作過程や、メルヴィルの芸術観についてはある程度の示唆を与える鍵ともなろう。この「コズタンザ」の構成について登場人物の一人が「全く調和を欠いている」と非難しているが、ロムバード自身もそのことは率直に認め、調和とは扱いにくいもので最後には投げ出したと寓意的に語ったとある。この章は「マーディ」の殆んど終末の部分にあり、「コズタンザ」の構成についてのロムバードの反省はメルヴィル自身の「マーディ」の構成についての反省を示すと解しても間違いないだろう。先程、「モウビー・ディック」の構成を論じたモームの文を引用したが、「マーディ」を論ずる場合にこそ彼の文は一層適確な批評となるかもしれない。

「マーディ」の物語は「タイピー」、「オムー」と同じように南太平洋に鯨を追う捕鯨船を舞台にして始まっている。主人公である「私」が乗る捕鯨船は先ず、バウンティ号の反乱者達が隠れ住んだことで有名なピトキアン島近海から鯨を求めてガラバゴス諸島に向う。だが不漁のため、船長は気まぐれにカムチャッカ湾でせみ鯨を狩ると宣言して北へと進路をとる。これを知った「私」は老水夫ジアルと共に捕鯨ボートでの脱走を計画する。ジアルはヴァイキングの末裔とでも称すべき、堂々とした体躯のしかも寡黙な老水夫である。この老水夫ジアルと「私」の関係は、「モウビー・ディック」のクイクェグ(Queequeg)とイシュメエル、「ビリー・バッド」(*Billy Budd*)の「デンマーク人」(the Dansker)と呼ばれる老水夫とビリーの関係をも連想させる。メルヴィルも説明しているように船という閉された世界での精神的親子の関係であろう。

捕鯨ボートで捕鯨船を脱走するため「私」が考え出した計画は、捕鯨船の習慣と乗組員の心理をよくわきまえ

た、大胆かつ用意周到なもので、捕鯨船での実生活の経験のあるメルヴィルにしてはじめてよく描きうるものであろう。かくして暗夜に、捕鯨船を脱走した「私」とジールは西のかた、キングズミル列島 (the Kingsmill Islands) をめざして帆走を開始する。やがて彼等は、無人の遭難船とも思われる帆船を発見して、それに移乗し、サモア (Samoa)、アナト (Annato) というポリネシア人夫婦を発見する。そのパーキー号 (the Parki) と名付けられた船は、ある島で原住民に襲われ、白人の船長以下全乗組員が殺され、サモア、アナトの二人だけが生き残ったという。勿論、「私」はこの話には多分に疑念を抱く。ここでパーキー号でのサモア、アナトの冒険が語られ、同時にこの二人の船上での滑稽な夫婦生活が幕間狂言風に語られている。パーキー号で彼等は更に西へ航海を続けるうち嵐にあい、アナトは船材に打たれて死に、船も危険となって再びボートに乗り移る。今度はサモアを含めた三人である。彼等はボートを更に西へ進めるうちに、双胴のカヌーに出会い、僧アリーマと息子達に守られて海上を運ばれて行く金髪の少女イイラを救い出す。その際「私」は争ってアリーマを殺し、復讐を誓う三人の息子達に追われる身となる。ボートはやがて世界を象徴するマーディに属する一つの島オドに近づいて行く。

メルヴィルは作品中、マーディという言葉^(註11)を「world」と全く同意語に使っている。ある本によると、「ard」^(註12)とはアラビア語で「land」を意味し、マーディとは「my world」を意味するメルヴィルの造語であろうと推論している。

この漂流譚の部分は冒頭から「タイピー」、「オムー」の事物に即した直截な表現とは異って、比喻をふんだんに使った技巧的な文体で綴られている。比較的単純で、登場人物にも場面にも制約のある漂流の物語がメルヴィル独特のリズミックな筆によって興味深く進行し、南太平洋の詩的、幻想的な雰囲気^(註13)をよく伝えている。屈 (A Calm)^(註12)、「雲の中での閑談」(A Chat in the Clouds)^(註13)、「燃える海」(The Sea on Fire)^(註14)を始めとする多くの章は、海の散文詩ともいえる「モウビー・ディック」^(註15)の「櫓頭」(The Mast-Head)^(註16)、「葬式」(The Funeral)^(註17)、「大連合艦隊」(The Grand Armada) といった章の原形をなすものであろう。メルヴィルの作品が持つ魅力の大きな要素は、眼にするあらゆる事物に象徴の衣粧を着せ、登場人物の心をよ切る想念をすら見事に形象化して浮び上らせるダイナミックな表現力にあるといえるが、「マーディ」のこの部分でメルヴィルのそのダイナミックな表現力がすでにその片鱗を見せていることは興味深い。またこの漂流譚の部分には随所に思想、世界観に「モウビー・ディック」のそれと対応する部分が見ら

れ、メルヴィルが海を人間性が描くドラマの象徴的舞台として意識して行く過程がよく理解できるように思われる。例えば「私」は船上での生活について次のように語っている。

さて、海上にあって、船乗同志のつきあいでは、すべての人はあるがままの性質の人に見える。人間性を研究するのに船ほどよい学校はない。人と人との接触が緊密でもあり、不断のことであるので欺瞞^(註18)の入り込む余地はない。

これは「モウビー・ディック」でイシュメエルが語る「捕鯨船は私のイエール大学であり、ハーバード大学である」という「弁護」(The Advocate)^(註19)の言葉と全く同じ概念を伝えるものであり、この言葉の背後に普遍的社会の象徴的存在としての捕鯨船の姿を思い浮べることも無理ではあるまい。またジールが鯨を殺すのに「murder」という言葉を使い、如何なる苦難のもとであっても若い頃沢山の鯨を殺したのを思い出す程慰めになることはないと言っている。これに対して「私」は次のような感慨をもらしている。

しかし、これは全く誤っている。鯨を憎むのも天使を憎むのも同じことだ。両方とも同じ神の手で創^(註20)られているのだ。

この「私」の視点は「モウビー・ディック」で己が臓腑を喰いちぎる鯨の存在に、それを創り出した不可解な神の映像を思い浮べるイシュメエルの視点と同じものであり、メルヴィルが善悪二元論の世界観にすでに深い関心を持っていたことを示すものでもあろう。

イイラが出現するに及んで、「マーディ」の物語は突然、超現実的世界へと突入して行く。イイラも後になって始めて、アマ (Amma) の島を訪れ、原住民に殺された白人夫妻の娘であったことが明らかにされているが、自らは「歓喜の島オルーリア (Oroolia) からきた乙女で人間以上の存在」と語っている。「私」もオドの島に上陸する際、サモアの契めもあって太陽から旅をして来た半神の人物タジを装い、幸いに島の人々からもタジとして認められ、王ミーディアに会う。王ミーディアは彼等を歓待して宴をはる。この時、オドの島を訪れた多くの訪問者に交って顔を包んだ微行者があった。これがあとでわかるが、イイラを变身させて自らの侍女とし、「美、健康、永生、失われた願望」でタジを誘惑する妖女ホーティ (Hautia) であった。勿論タジはこのことを知るよしもない。彼はイイラと共に、ミーディアの許をえて、オドに近い小島に隠れ住み、幸せに日々を送る。だがそ

の間にもイイラに不安な影がさし、時に「渦巻」とか「甘美な苔」とかつぶやいて遠くの礫湖をじっと見つめたりする。そしてある朝、イイラは姿を消していた。

タジは直ちにイイラを探すか、彼等の住んでいた小島にもオドにもイイラは見あたらない。そこでタジはイイラを追ってオドの島を去ろうとする。驚いたことには、ミーディアも三人の家臣を連れて同行しようとして申し出る。彼等は三隻のカヌーを仕立てて出発する。

ここまで読み進めばわかるように、「マーディ」は失われたものを求める探索の物語である。イイラによってメルヴィルが何を表わそうとし、またその探索が作家としてのメルヴィルに如何なる意味を持つものであったかはあとで触れたい。いまここではメルヴィルに喪失と、その失われたものに対する探索の主題を与えた要因について少し考えてみたい。

アメリカ史に於ける1820年代から50年代にかけては歴史家によって様々の意見もあるが、一応ジャクソニアン・デモクラシー (Jacksonian democracy) の時代として区分することも許されよう。1819年生れのメルヴィルが少年時代を過し、大西洋、内陸、太平洋と放浪生活を送り、更に職業作家として「モウビー・ディック」を始めとする作品を書いたのはこの時代である。独立戦争で一応政治的独立を達成したアメリカが、経済的にも、更に思想、文化的にも独自の道を歩み始めた時代である。エマソン (Ralph Waldo Emerson) が例の「我々の依存の時代、他国の学問に対する長い徒弟の時代は終ろうとしている」との「アメリカの学者」^(註22) (The American Scholar) と題する講演を行ったのが1837年である。アメリカの西部への膨張と、産業への機械の導入が一連の社会的変動を惹き起し、それに伴う民衆のアメリカ人民及び、アメリカン・デモクラシーに対する自覚が社会のあらゆる分野で独創的な活動を活潑に行わせていたのである。また忘れてはならないことはこの時代はいま述べた生産機構の変化が、増大する移民の流入、都市への人口の集中、貧困、恐慌、失業といった様々な社会問題を伴いながら、アメリカ社会を建国の理想に基づいた自由な精神の共同体から益々産業を中心とする経済の組織体へと改変していった事実である。

機械生産時代がアメリカにもたらした最初の恐慌は1819年に起り、アメリカは南北戦争までに前後5回の恐慌を経験している。1819年はメルヴィルが生れた年であり、家の没落、それに続く父の死は1829年の恐慌の影響によるものと想像もされる。更にメルヴィルが海に出たのが1837年に始まり、5年間続いたアメリカ史上でも最悪の不況の期間であってみれば、放浪時代にメルヴィルが抱いていたであろう社会観、世界観の色合いもおおよそ理

解できよう。自伝的要素が最も多く含まれていると思われる「レッドバーン」でメルヴィルが最初に海に出た当時の心情がある程度推測もできるが、この作品が「ビエール」と並んでメルヴィルの作品中最も暗い作品になっているのも、この意味からも理由のないことではあるまい。

メルヴィルが放浪生活を送る動機となったものの中には、確かに「モウビー・ディック」の序章で語られているような「私は禁断の海を航海し、未開の岸边に上陸したい」といった遠い海に対するロマンティックな憧れもあったであろう。しかしその主要な動機は家業の没落、父の死による経済的貧困にあったと考えてもよからう。「レッドバーン」には「捕鯨船に身をゆだねるという狂気の沙汰」という言葉も見い出せる。自らが「狂気の沙汰」と呼ばざるをえなかったような行為に身をまかせたメルヴィルは、言わばアメリカ社会からはじき出された疎外者であり、一種のイシュメエルであったといってもよい。事実彼は放浪の全期間を通じて、自らも認めるように「beachcomber」と呼ばれる将来に何んの期待も抱きえない南海の放浪者として終始している。「タイプー」、「オムー」という二つの旅行譚は、この南海に於けるイシュメエルとしての生活体験から直接生れた作品であった。

旅行譚作家としてメルヴィルが持つ特質は、時に諧謔を交えた直截な表現、ナイーブな観察眼、偏見のない人間観、事実談とはいいいながら自他の体験をロマンティックに潤色して物語に興味を盛りあげている小説的な技巧といった点で要約することができる。この最後の点、即ち内面の真実を語る限り必ずしも表面の事実にこだわらず、作品をロマンティックなものに仕上げている小説的技巧はメルヴィルが旅行譚を書きながらもすでにロマンス作家としての資質を見せている点で注目してもよからう。しかし更に一層重要なことは、「タイプー」、「オムー」が旅行譚とはいいいながら、ポリネシアの生活と放浪船員の生活を描くという当面の意図の背後に、野蠻と文明、社会と文明の進歩とは何か、という小説の主題を持っているということである。この主題たるや文明と社会の進歩に対するメルヴィル独特の深い疑惑と不信感に貫かれたもので、メルヴィルが放浪時代にアメリカ社会からの疎外者としてイシュメエルの心情を抱いていたことを物語るものであろう。この疎外感、イシュメエルの心情こそがメルヴィルにポリネシアの生活を讃美させ、読者に文明と社会の進歩に対する楽天的な信頼に反省を強い、「タイプー」、「オムー」を同時代の旅行譚とは全く色合いの異なる作品としている最大の原因であるともいえる。

例えば「タイピー」、「オムー」をメルヴィル自身が先輩作家として敬愛もし、交友もあったリチャード・ヘンリー・ディナ (Richard Henry Dana Jr.) の「平水夫の二年間」(*Two Years before the Mast*) と比較してみよう。ディナもメルヴィルと同じように、偏見のない人間観、知的好奇心に満ちた観察眼で、下級船員の生活の実態、ゴールド・ラッシュ以前のカリフォルニアの状態、ハワイ出身の船員達の気質、習慣等をメルヴィルよりはより客観的に描いている。しかしディナは、メルヴィルとは違って、彼の属するアメリカ社会や文明に対してはいささかの疑念も抱いてはいない。このようなメルヴィルとディナという同時代の作家の社会観、文明観の本質的な相違は、勿論二人の持つ資質の違いによるものではあろうが、彼等がアメリカ社会に占める経済的、社会的立場の相違によるところも大きかったと想像される。メルヴィルが船乗りになった動機については前に述べた。これに対してディナは、ハーバード大学の学生時代麻疹にかかって弱めた視力を回復するために海へ出ている。彼は帰国後は再び学業を継続し、後に法律家として活躍している。いずれにしてもディナの作品は当時のニューイングランドの知識階級が持つ精神の健全な一面を示しており、メルヴィルの作品とはおのずと異なる基盤の上に立つものである。

ある論者^(註24)も指摘しているが、メルヴィルの作品には二つの神話的背景がある。いままで述べてきたイシュメエルの神話と、プロメシュウスの神話である。周知のようにイシュメエルの神話も、プロメシュウスの神話も共に没落の神話である。イシュメエルの神話は没落と苦難の中での神による復権の物語であり、プロメシュウスの神話は没落と、没落をもたらした神への挑戦の物語である。「タイピー」、「オムー」はアメリカ社会からはじき出されて南海という荒野に彷徨するイシュメエルの物語であった。メルヴィルはその荒野の中でかえって文明にわずらわされない楽園を発見している。しかもそのイシュメエルの楽園を脅かす文明が宣教師によるキリスト教で代表されるものであってみれば、その文明に対する不信、反感が神の問題とも、善悪とも関連し、やがては彼の抱く二元的世界観に発展して行ったことも当然予想しえよう。メルヴィルにイシュメエルの神話を与えたものは明らかに、家業の没落と父の死に伴う経済的貧困であったろう。そしてそのイシュメエルの心情にプロメシュウスの自覚と矜持を与えたものは、最下級の船員生活が培った生活者としての倫理観、言いかえれば人道主義であったといえよう。「オムー」の序文に見られる次のような一節は、メルヴィルがためらいながらも、正義と真実

のためには悪をもたらす如何なるものとも対決し、場合によっては宗教、神にも戦を挑むプロメシュウスへの変貌を予言しているようにも思える。

伝道活動に関するあらゆる記述には、勿論、細心の注意を払って厳密に事実^(註25)に忠実であろうと勉めた。ある場合には、筆者自身の観察の結果として記した事柄に確証を与えるため先人の航海記を引用することが望ましいとさえ考えた。いやしくもこの問題に触れた動機は、真実と福利を求める筆者の切なる願い以外の何ものでもない。もし筆者が指摘する悪を矯正する最良の策について示唆していない場合、それは単に筆者以外のよりふさわしい識者が事実を知ったうえでそうするほうがよいと考えるからである。

メルヴィルは「マーディ」ではじめて、運命に逆って復権を要求するプロメシュウスの主人公タジを創り出している。「私」という青年水夫が物語の途中から太陽から来たタジと呼ばれる半神的人物に変貌するのも理由のないことではない。「マーディ」以後に書かれるメルヴィルの主人公は、いずれも神性を附与されて半神的人物として登場している。バルキントン、エイハブ、そして自らをエンセラダスに擬するピエールという風に。

「マーディ」の物語は、タジがイイラを追ってオドの島を出発したところで再びおもむきを変え、一行がイイラを探索する途路に訪れる島々を描く諷刺譚になっている。諷刺の対象となるものは、ドミノラ (Dominora, イギリス)、ヴィヴィエンザ (Vivienza, アメリカ) などといった実在する国家の場合もあり、マラマ (Marama, 独善的な教会制度)、ピミニー (Piminee, 上流社会)、ディランダ (Diranda, ミリタリズム)、シリーニア (Serenia, キリスト教的ユートピア) といった宗教、思想、社会制度の場合もある。その他ジュアム (Juam)、オホヌー (Ohonoo) といったポリネシアの歴史、伝説と関係を持つと思われるものもあり、更にスィフト (Jonathan Swift) を思わせる「不具者の島」(Hooloomooloo, the Isle of Cripples) も登場している。またフランスの二月革命、ゴールド・ラッシュその他の政治的、社会的事件も諷刺の対象となっている。このうち、マラマ、ヴィヴィエンザ、シリーニアが特に力を入れて描かれており、当時メルヴィルの関心がどこにあったか推測もできる。

これは勿論、タジのイイラに対する探索という「マーディ」の中心的主題とも照応するものであるが、この諷刺譚の部分は、真理の追求と、その真理が現実のもの

なっている理想的社会の探索という副次的主題を持っている。メルヴィルはこの観点から特にマラマに於ては腐敗した教会制度に、ヴィヴィエンザに於ては矛盾と偏見に満ちたアメリカ社会の現状に鋭い批判の眼を向けている。この事実はメルヴィルが何時までもイシュメエル的心情を抱く社会や文明の傍観者たりえなかったことを示すものであろう。「タイピー」、「オムー」で一旦は原始の世界に逃避したメルヴィルが、その後の思索生活によって徐々に現実に戻されていったということもできる。更に南海での放浪生活によって培われた正義感、人道主義が、アメリカ社会の現実に対して眼を開かせ、彼を何時までも逃避の世界にとどまることを許さなかったと考えることもできる。ババランジャが、キリストの教えが忠実に守られ「多数の不幸な人々に少数の幸せな人を養うようなことはさせない」というシリニアに遂に理想の社会を見出しているのも、この意味からも当然なことであろう。「マーディ」に続いて書かれた「レッドバーン」、「ホワイト・ジャケット」では大西洋を渡る船の中での悲惨な移民の状態、人間の尊厳を無視した水兵への笞刑に対してメルヴィルがあげるもっと直截な人道主義の叫びを聴くことができる。

メルヴィルは「マーディ」に於て、アメリカの現状及び、将来に強い関心を示しているが、これは「マーディ」が書かれたのが主として1848年であったという事実とも無関係ではあるまい。この1848年という年は、ヨーロッパ社会にとってもアメリカ社会にとっても、大きな政治的、社会的事件が続発した年である。フランスでは二月革命の結果、第二共和制が発足し、更に後には共和派同志の抗争が六月事件を惹き起している。このフランスの二月革命を中心とするヨーロッパの政治的変動は「マーディ」では、フランコ (Franko, フランス) の火山の爆発として諷刺され、ヴィヴィエンザの部分でもこの事件をめぐってアメリカの輿論が高騰していた様子が皮肉に描かれている。またアメリカにとってもこの年はメキシコ戦争が終結した年であり、カリフォルニアに金鉱が発見され、所謂ゴールド・ラッシュが起った年でもある。メルヴィルはヴィヴィエンザでアメリカが領土拡張の際に示す帝国主義的傾向にも触れ、ゴールド・ラッシュについても一章をさいて、ゴールド・ハンターの狂態とゴールド・ラッシュが惹き起す社会状態を適確に描いている。

メルヴィルが烈しく攻撃するものは端的に言えば、人間や、人間社会が持つ独善性である。「タイピー」、「オムー」では西欧文明と、それを代表するキリスト教が持つ独善性が非難されていた、「マーディ」では同じく宗教の独善性がマラマで、アメリカ社会の持つ独善性がヴ

ィヴィエンザで痛烈に批判されている。メルヴィルはこの独善性こそが真理の探求と理想の社会の実現を阻害する大きな要素と考えていたようである。マラマで盲目の案内者を拒否し、自らの宗教的信条で神を求めんとする少年巡礼が結果に於て殺されるのもこのことを示唆するものであろう。マラマに対してシリニアでは、その住民が神に対する人間と、己が住む社会の不完全さを意識することで独善をまぬがれている。ヴィヴィエンザでは次に述べるように冒頭の場面からアメリカ社会の持つ独善性が鋭い諷刺の対象となっている。

タジの一行がヴィヴィエンザに近ずいたとき、陵線が海に突出し先端がアーチ状をなして近くの島に続いている地形が遠望された。その上にはヴィヴィエンザの守護神である女神の像が祭られ、「この共和国では、人はすべて生れながらにして自由かつ、平等である」^(註28)との文字が見られた。だが更によくみると、その文字の下に「ハモの部族を除いては」と小さく書き添えてあったという。タジの一行はその文字の下のアーチ状に開けた水路を通してヴィヴィエンザに上陸している。メルヴィルはヴィヴィエンザの部分で、奴隷制度の非人道性、アメリカの好戦的、帝国主義的傾向等についても心を痛めている。しかしメルヴィルは、様々な要素を含めて、冒頭の場面が諷刺の対象になっているようなアメリカ人が持つ政治思想、社会観の独善性、偽善性について最も多く語っている。

メルヴィルにとってアメリカ人が持つ政治、社会観の独善性は、自由の概念についての浅薄な理解、諸国民の史的発展段階を無視した乱暴な文明史観に最もよく現われていると考えていたようである。メルヴィルによればアメリカが自由を享受できるのは主として国が若く、その奔放さを受け入れるに充分な未開の西部を持っているからにはほかならない。しかしその西部といえどもやがては消滅し、必ずや反撥が起ると警告もしている。また国も人と同じく、年をとるにつれて心を閉し、かつて足もとに踏みつけた金言を額にかざし、圧制者を憎んだものがやがては自ら圧制者にもなりうるものだと説いている。更に「自由とは自由でないあるものにつけられた名前であり、この教訓は一時間、一時代では理解しえないものだ」^(註29)と論じ、自由とは本来、政治的というよりむしろ社会的なもので、個人が獲得し保持するものだと教えている。したがって、

問題なのは誰が国を治めるかではなく、誰が自分を支配するかである。一人の王のもので安全を保証されているほうが、たとえ自分がその数に含まれていようとも、二百万の君主の暴力にさらされている

よりましである。(註³⁰)

と、語っている。このような暴力否定の思想はメルヴィルの著しい特徴でディラングに於けるミリタリズムの諷刺にもこのことがよく表われている。勿論、暴力を伴う革命といった社会的変動もメルヴィルにとっては許しがたい悪であり、次のように述べて明確に反対の立場を表明している。

いま時代に歩調を合わせるために、広範な分野での真の大改革は必要であるが、何処に於ても流血を伴う革命の必要はない。革命は確かに最も確実な療法ではあるが、思慮深い病人は病氣とともに生命まで追い出すべく血管を切り開いたりとはせぬものだ。すべての悪を和げることができるかもしれないが、悪をすべてなくすることは不可能だ。何故なら悪は宇宙の慢性病であり、一つの場所でせきとめても、また別の場所に現われるものだから。(註³¹)

結局のところメルヴィルは、アメリカ人の政治思想、社会観が持つ最大の誤謬は、彼等が世界は史的発展の最終段階にあり、遠からず必然的に永続的な共和制体が全世界に訪れると確信しているところにあると考えていたようである。またアメリカ人が信ずる自由についてもメルヴィルは、「この国には、これ等の自由の民が考えている程、自由はない」と結論を下している。ポリネシア、イギリス、アメリカと文明発展の諸段階を最下層の生活者として体験してきたメルヴィルにとって、政治的、社会的独善と偏見に支配されているアメリカ社会が救いがたい存在にみえたのであろう。そしてこのメルヴィルの政治観、社会観の底には何よりも、精神的なものであれ、肉体的なものであれ暴力を憎む人道主義と正義感が存在していたことを忘れてはならない。

さて、タジの一行がイイラを求めてマーディの島々を訪れ、遂にシリーニアに達したとき、ババランジャはそこにとどまることを決心する。前にも述べたように、彼はアルマ (Alma, キリスト) の愛がすべての人に行きわたり、「多数の不幸な人に少数の幸せな人を養うようなことはさせない」というシリーニアに理想の社会を発見するのである。タジは更に旅を続け、ホーティアの島に近づいて行く。モハイはホーティアの島に上陸するに先立って、タジに失踪した恋人をホーティアの侍女に変えられたオゾンナ (Ozonna) の話を聴かせる。オゾンナもタジと同様、恋人を探してホーティアの島を訪れ、ホーティアの侍女の一人が彼の恋人であるのを発見する。だがオゾンナは再びホーティアに計られて恋人を見失い、遂には恋人の殺害者として海に投げ込まれたとい

う。

ホーティアの島に上陸したタジは、一旦はホーティアの誘惑に負け、「美、健康、永生、失われた願い」が得られるという洞窟の湖にホーティと共にもぐる。だがイイラを思う痛切な心にイイラの謎を明せとタジはホーティアに迫る。ホーティはタジの言葉をきいて、イイラが胸に架けていたばら色の真珠をタジの眼前で振り、「わめけ、イイラは答えもできぬ程深いところに横たわっている。……行って身を滅すがよい。……山の中にもう一つの洞窟がある」と叫ぶ。ホーティアのこの言葉にタジはイイラがその洞窟の湖で溺死させられたのだと想像する。タジはやがてその湖の渦巻く水の底に白い、ぼんやりとしたイイラの影を認めて水に飛び込む。しかしイイラの影は再び渦巻く水の中に消えて行く。

ほどなくオドの島に帰りついた一行は、留守中島で騒乱が起っているのを知る。ミーディアはモハイ、ユーミィに命じてタジをシリーニアに送り、自らは島にとどまろうとする。だがタジは、「死にかけている生命がもう一度生きるねうちがあるのか。さすれば私を再び帰らない旅人にしてくれ。舵だ。神に誓って私は自らの運命の舵をとる。さらばマーディよ」と叫びながら「涯しない外洋」に船を乗りだして行く。

先程、諷刺譚の部分では、ババランジャを中心にモハイ、ユーミィ・ミーディアの四人の人物がタジの人格を受け継ぎ、タジは極めて非人格的な説話者として物語の背景にとどまっていると述べておいた。それと同時にババランジャはメルヴィル自身の国家、社会、人間性、芸術についての見解をも代弁し、モハイ・ユーミィは物語の背景となるポリネシアの神話、伝承、詩の語り手としての役割をも果している。ミーディアはその名前からも推測されるように三人の人物の間にあって、時に皮肉な批判者の役割をも勤めている。

この四人の人物のうち、最も重要な人物は勿論、哲学者ババランジャであろう。諷刺譚の部分の主題、真理とその真理が現実のものになっている理想的社会制度の探索は主としてババランジャが理性を通じて思弁的に行うものである。ババランジャの真理に対する追求の鋭さは勿論、メルヴィル自身の真理についての認識の深さ、それに対する渴望を示すものであろう。またババランジャが様々な対象をとらえて行う哲学的考察は、「マーディ」執筆当時メルヴィルが抱いていた思想、世界観に密着するものであるのは言うまでもない。またメルヴィルは「マーディ」で善悪の問題に強い関心を寄せているが、これは幼時期の家庭教育で培われたと思われるメルヴィルの徹底したカルヴィニズ教的宗教への関心、宗教による

自己救済の願望と関係を持つものであろう。

前に触れた「コズタンザ」の章で、メルヴィルはババランジャに「有限なものの中に無限なものがあり、単一なものの中に二元的なものがある」と語らせている。また別の個所では「明確なものの中に神秘があり、しかもその神秘の中にある明確さがある」とも語らせている。「マーディ」を書くにあたってメルヴィルがすでに、このような錯綜した現実意識を持っていたことは注目に値しよう。また彼はすでに、人間の存在それ自身も、解きがたく二元的に引き裂かれた存在であるとの意識に達していたことは、次のように語るババランジャの言葉によっても察せられよう。

我々の夢は下界からくるのであって、天上からくるのではないのか。我々は天使なのか、それとも犬なのか。ああ、人間、人間、人間お前は積分学より解きがたく、しかも初等入門書のように明解であり、化石のように見付けがたく、しかも常に手もとにありもする。錬金術師のものより更に巧妙な合成物でありながら、肉体に比してほんのわずかな魂しか持ち合せていない。心と身体は、原子と原子のように縫目もなくはり合せられ、しかも河で隔てられているように肉体と魂は離れている。^(註34)

真理とはメルヴィルにとって、このような錯綜した現実秩序を与え、不条理な人間経験の背後に一元的な認識をうることであつたのであろう。そこには当然のこととして、理性の真理は同時に感性の裏付けを必要とし、若しその調和がえられなければ恐るべき背理のジレンマに陥入ることも予想される。メルヴィルが後に「ピエール」で追求した主題は、まさしくこのような背理のジレンマに捕えられた人間性の追求であつたといえよう。「マーディ」でもメルヴィルはババランジャにこのようなジレンマを予感させていることは興味深い。マラマで自己の懷疑を勇敢に表明し、行動する巡礼少年の存在をみてババランジャは、次のように独白している。

おお神よ。私はこのあわれな肉体という、眼のない魂にふさわしい棲家を離れて生きたい。死、死、即ち盲目、私は死んでいるのか。盲目であることは死の意識に似ている。私にとっていますべては闇であるが、私の墓はもっと暗いのだろうか。闇から闇へ。この私の中にあつて、しかも私がとらえようとしてとらえがたいものは何んであろうか。……すべては混沌である。この空に輝く光、彼等が私に教えてくれるこの太陽は何んであろうか。彼等は嘘をついているのであろうか。その光はひよっとして確

信への道を照すものかもしれないと思ひするのだが。だが私は闇の中で考え込み、手さぐりする。私は懷疑に沈黙する。しかも私の疑いは、疑いというよりもっと悪いものだ。私は懷疑を懷疑しているのだ。^(註35)

同時にババランジャのこのような姿は、理性と感性が微妙に乖離し、孤立した知性が生み出す迷妄に駆りたてられて狂気のように自殺的行動に突っ走るエイハブの存在とも無縁のものではあるまい。「モウビー・ディック」、第37章、「後甲板」の次のようなエイハブの姿は、このような精神の状態を端的に示しているように思われる。

まあもうちょっと良く聴け、もう少し奥のところをな。すべて眼に見えるものはボール紙の仮面にしかすぎんのだ。だがどんな物事でも、この疑うことのできない生の行動の中では、何かよくわからないがそれでも理窟にかなったものが、そのわけのわからない仮面の背後から顔をぬっともげたてているのだ。若し叩くというなら、その仮面を徹底的に叩き落せ。壁を破らずにどうして囚人は外に出られる？ 俺にとって白鯨が眼の前のしかかるその壁なのだ。時には壁の向うに何もないと考えることもある。だがそれで沢山だ。

「マーディ」に於けるメルヴィルの真理探求への関心の深さは、文中ふと括弧して、岸に近づくのは形而上学で真理に近づくようなものだ」とその曖昧さを暗示している程であるが、到るところで、彼はその捕えがたさ、それに対する烈しい渴望について語っている。祖先の定めた掟により広い世界を求めて島の外に出ることを許されないジュアム島の王ドンジャロロ (Donjaroro) の寓話もメルヴィル自身の真理への渴望の烈しさを物語るものであろう。ババランジャの次のような言葉も同じ思いを伝えている。

私は懸命に、物事の本質を、彼方に横たわる神秘を、はげしい笑いが惹き起す涙の成分を、見せかけの下にあるものを、毛むじやらのかきの中にある高価な真珠を求めている。私は円の中心にさぐりを入れる。私は測りしれないものを解明しようとする。^(註36)

ババランジャにとって、かような「物事の本質」、即ち真理に近づく主要な武器は理性であった。このことはシリニアで、「正しい理性とアルマ (キリスト) は同じものだ。でなければ、我々は理性をではなく、アルマを拒否するだろう」と説かれてババランジャは始めてシリニアを理想の社会として受け入れていることでも想

像されよう。更にシリーニアを受け入れた後、ババランジャは「理性はもはや私を支配してはいない。なお語りかけてはくれるけれども」とも語っている。彼はまた理性を通じて、神の遍在性と悪の存在との矛盾、必然と自由意志、神の不可知性等、様々な問題について考察し、「モウビィ・ディック」の背景をもなす二元的世界観を展開してみせてくれている。

勿論ババランジャとて理性が真理を獲得する唯一つの手段と考えていた訳ではない。彼は「真理とは事物の中にあって、言葉の中にあるのではない。真理とは声を持たぬものだ」と語っている。この言葉はメルヴィルが真理とは単に合理的に説明しうるものというより、むしろ感性の裏付けをえて事物の中に象徴的に暗示されるものとして意識していたことを物語るものであろう。だがいづれにしても、ババランジャが懸命に理性を通じて追求したものは、真理と、その真理が現実のものになっている理想的な社会制度であった。そして真理の追求と、理想的な社会の実現を阻むものは宗教や社会の独善性であった。同時にまた単に理性によっては越えがたい、すべてのものの創造者であり、しかも善と同時に悪をも地上にもたらす不可解な神の存在があった。ババランジャはアルマ(キリスト)の愛の前に自己を放棄することでシリーニアに理想の社会を見た。このババランジャの求める真理と、理想の社会がタジの探索するイイラと関係を持つものであることはシリーニアにとどまる決心をしたババランジャがタジに与える次のような言葉からも推察できよう。

私の旅は終わった。それは我々が探していたものが見付かったからではなく、私がマーディで探したもののうち、持ちうるものはすべて持ったからである。……タジよ、お前がイイラを求めても無駄だろう。イイラはお前をあざ笑う幻なのだ。お前が狂気のようにイイラを求めている間にも、お前の犯した罪は声をあげて叫びたて、復讐者はなおお前を追うだろう。……

もう一度言おう。タジよ、お前のイイラは決して見付かるまい。よし見付かったとしてもお前には何んの益もなからう。それでも探したいというなら探すがよい。お前がまだ多くの島を訪れていないというなら。そしてすべてを見たら帰ってこい。そしてイイラをここで見付けるがよい。^(註38)

このシリーニアをも拒否してなおイイラを求め続けるタジとババランジャの関係は、「ピエール」の主人公ピエールとプリンリマンの関係を連想させる。ピエー

ルも究極の真理を求めて、不可解な神の摂理を地上にもたらさんとする者の愚さを説き、「地上の分別」を教えるプリンリマンを拒否している。同時にタジの姿は、「もし神に従えば己にそむかねばならず、この己にそむかねばならぬところに神に従うことのむずかしさがある」^(註39)とのマップル神父の教えとは逆に、己に従い神にそむいたエイハブの姿とも直接重なり合うものを多く持っている。タジがシリーニアを拒否して「涯しない外洋」に船を進めることが「犯すべからざる罪」^(註40)と言及されているのもタジの行為がエイハブの行為と同じく、神への挑戦を意味するものとメルヴィルが理解していたことを示すものであろう。また「自らの運命の舵をとる」と宣言するタジの眼に「永遠」が宿っていたと語られるのもタジの神に挑戦するプロメシュウ的人物への変貌を暗示するものであろう。タジの求めるイイラは麗々光のイメージを伴って現われ、反対にホーティアは「洞窟」、「渦巻」、「美、健康、永生、失われた願望」といった暗黒、混沌、地上の誘惑の象徴として描かれている。この限りでは、イイラはメルヴィルが求める理性の真理であると同時に感性の真理でもある真のリアリティ、ホーティアはその追求を阻害する懷疑、独善、地上の誘惑を表すとも解すことができよう。勿論、象徴とは本来人間経験に密着する場合によっては複雑な感念を暗示する記号であって、必ずしも単一の概念の表象ではない。特に前にも述べた錯綜する現実と、人間経験の矛盾の意識に作家としての想像力の源を持つメルヴィルのような作家の場合にはそうであろう。しかし「マーディ」に於てメルヴィルが懸命に模索したものはその錯綜する現実、矛盾する人間経験の背後に横たわる一元的な世界、即ちメルヴィルにとっての真理の世界であった。イイラが何を意味しようともメルヴィルがイイラの探索という物語に、到達しがたい真理への自己の思いを託したことは否定しえない事実であろう。

(註 1) M. R. Davis and W. H. Gilman (ed.): *The Letters of Herman Melville*, p. 96

(註 2) *ibid.* p. 130

(註 3) *ibid.* p. 85

(註 4) John Bernstein: *Pacifism and Rebellion in the Writings of Herman Melville*, ch. 2

(註 5) M. R. Davis and W. H. Gilman (ed.): *op. cit.* p. 59

(註 6) *ibid.* p. 69

(註 7) W. Somerset Maugham: *Ten Novels and their Authors*, ch. 8, (4)

- (註 8) *Mardi*, ch. 180
- (註 9) *Moby Dick*, ch. 9
- (註10) *Pierre*, Book XIV, III
- (註11) Dorothee Metlitsky Finkelstein : *Melville's Orienda*, pp. 205-6
- (註12) *Mardi*, ch. 2
- (註13) *ibid.* ch. 4
- (註14) *ibid.* ch. 38
- (註15) *Moby Dick*, ch. 35
- (註16) *ibid.* ch. 69
- (註17) *ibid.* ch. 87
- (註18) *Mardi*, ch.3
- (註19) *Moby Dick*, ch. 24
- (註20) *Mardi*, ch. 13
- (註21) *Moby Dick*, ch. 66
- (註22) Ralph Waldo Emerson : *The Selected Writings of Ralph Waldo Emerson* (Modern Library edition), p. 45
- (註23) *Redburn*, ch. 62
- (註24) Richard Chase : *Herman Melville A Critical Study*, I
- (註25) *Omoo*, Preface
- (註26) *Mardi*, ch. 187
- (註27) *ibid.* ch. 166
- (註28) *ibid.* ch. 157
- (註29) *ibid.* ch. 161
- (註30) *ibid.* ch. 161
- (註31) *ibid.* ch. 161
- (註32) *ibid.* ch. 195
- (註33) *ibid.* ch. 195
- (註34) *ibid.* ch. 136
- (註35) *ibid.* ch. 109
- (註36) *ibid.* ch. 114
- (註37) *ibid.* ch. 93
- (註38) *ibid.* ch. 189
- (註39) *Moby Dick*, ch.9
- (註40) *Mardi*, ch. 195

WILLIAM JAMES AND HIS IDEAS

(1)

Hirotake TAKITA

Summary

James developed his ideas, like many American thinkers, in close connection with European thinkers.

Due to his father's peculiar education in his childhood, he lived his life as a cosmopolitan. His ideas were, in their formation, intimately related with natural science and philosophy of Europe, such as those of Germany, France and England.

Therefore in order to understand the ideas of William James, it is indispensable to know his personality and life-history, and at the same time, to trace the background of his thought.

He started as a trained scientist, but the pure objective and disinterested research of science did not satisfy his mind. His concerns were wide spread in various fields: in positive natural science, in aesthetics, in philosophy, in religion and in others. His flexible mind was never tired of absorbing new ideas one after another, which became mental pabulum of his thoughts.

His greatest interest lay, in a word, in clarifying the variety and dynamics of reality which can be ascertained by the concrete and direct experience of it, and in defending the freedom and subjectivity of human mind against mechanical determinism and monism (both idealistic and materialistic) which were main European thoughts at that time.

Pragmatism conceived by James is not a theory of meaning as Peirce insisted, but likewise a theory of truth. In introducing a reference to satisfaction, expediency, practicability and also instrumentality in his definition of truth, James expanded the Peirce's original meanings of pragmatism. An idea is true when it works, and an idea works when it leads to satisfactory outcomes. Thus a therapeutic concern predominated over his whole works.

I

William James, the founder of Pragmatism and the first scientific psychologist, was born in New York on 11 January 1894. He was the eldest of five children, and Henry, a famous novelist, was his brother. His father, Henry James the elder, had a powerful influence on his children.

Henry James the elder, born in Albany in 1811, was brought up in a Calvinistic, Presbyterian atmosphere. At the age of thirteen, he became lame by attempting to stamp out the fire and being burned while experimenting in the Albany Institute why flame or smoke always mounts upward. He entered Princeton Theological Seminary with the intention of being a minister, but withdrew three years later because of his divergence of religious opinion. Then through the rest of his life he led the life of a gentleman of leisure, reading, travelling, and visiting and corresponding with friends, among whom were Emerson, Carlyle and other famous men of his day. At the age of thirty-five he saw 'the light' coming to him from Swedenborg and Fourier. From the time on he devoted himself to the study of Swedenborg. But he was, in his nature, a critic in every point; it was to him only a stuff of his speculation.

He may have been eccentric, but he had the tolerance and the enthusiasm for ideas. He was

good at speech, full-blooded and his speech was attractive though rather exaggerate in his writings. In his family he was almost a perfect, affectionate father; his five children were high-spirited and argumentative. He believed firmly that children should think for themselves and that they should form their views in the mutual intellectual combat.

In spite of his bodily trouble, he often took his children abroad; James traveled to Europe with his family at the age of two years and a half for the first time, then in 1855 his father, unsatisfied with American schools, decided to take all his children to Europe, thus 'allowing them to absorb French and German and get a better sensuous education'. So in about five years James attended educational establishments in Paris, Boulogne, Rhode Island, Geneva and Bonn, which resulted in a sort of his inferiority complex, that is, his dislike of logic and mathematics. But he could speak French fluently and German pretty well, and what was more important, he had been a man of the world. While in Europe, James had intended to be a painter for a time. Though his father thought it deplorable, the family returned to America that he might study under the artist, W. M. Hunter. But in less than a year, he gave it up thinking that there was nothing on earth more deplorable than a bad artist. In Autumn of 1861 he became student of chemistry at the Lawrence Scientific School at Harvard. After a year of the study of chemistry there with considerable interest, he transferred to the Department of Comparative Anatomy and Physiology, largely through the influence of the lecture on Natural History by Professor Louis Agassiz.

James was now twenty-one and the choice of profession was becoming ardent. He should like to have studied Natural Science, but with consideration for his future income, he decided to study medicine. So he entered the Harvard

Medical School, but he had no idea of being a practical doctor in spite of his deep interest in physiology of the nervous system. The following year, Professor Agassiz was to lead a party of field naturalists on an expedition up the Amazon River, and James joined the party. But he wrote to his family on the way there: "If there is anything I hate it is collecting. I don't think it suited to my genius at all,..."⁽¹⁾ Furthermore, his illness on the way left him weak and exhausted, and for a time, made it impossible for him to read or to use his eyes. He 'longed to be back to books, studies, etc., after this elementary existence.'⁽²⁾ He realized that he preferred philosophical speculation to collecting.

James resumed his medical studies in March 1866 but shortly after starting on an internship he suffered from various diseases, such as insomnia, digestive disorders and etc., whose main cause was probably emotional, as was seen in other members in his family.

To take medical treatment at some spa in Europe he set off in the spring of 1867 and stayed there for two years, mainly in Germany, which was at that time in advance of the world in the physiology of the nervous system he was interested in. His lonely life there was not suited for the suffering from depression. He even thought of suicide for a time. He often wrote many letters to his family, in which he adopted a deliberately light-hearted tone, to avoid causing anxiety.

James remained, however, interested in the physiology of the nervous system. He mentioned in a letter to Tom Ward: "Perhaps the time has come for psychology to begin to be a science...some measurements have already been made in the region lying between the physical changes in the nerves and the appearance of consciousness-at (in the shape of sense perceptions), and more may come of it."⁽³⁾

In November 1863, in spite of little improvement of his physical condition, James returned to America, studied his medical course once more, and in 1869 became William James, M.D.

But his troubles were by no means over; for the next three years James remained at home, without doing any regular work. He entered the decade of his spiritual crises. He suffered from his abnormal mentality, as shown in his experience described later in the chapter on 'The Sick Soul' in the *Varieties of Religious Experience*. It was then that James got acquaintance with Renouvier. He was fascinated by his philosophy and absorbed in reading his works.

James recovered from such a seriously morbid condition without psychiatric assistance. He recovered his health both bodily and spiritually well enough to think of regular work. The President of Harvard University was C. W. Eliot, then, who had been James's instructor in chemistry at the Lawrence Scientific School, offered the post of Instructor in philosophy at Harvard, which happened to be vacant. James thought it was a noble thing for one's spirits to have some responsible work to do. He was much interested in the vocation of teaching. The students were also charmed by his lecture. The next spring his post became permanent with the addition of a course in Anatomy. In spite of his continual interest in philosophy, James thought that philosophical activity as a business was not normal for most men and not for him, and accepted this post. After staying in Europe for five months, in 1876, he founded the first laboratory for experimental psychology in the United States, whose post James, who had felt himself unsuitable for the experiment, offered later to Münsterberg, the ablest young German experimental psychologist.

In 1876 James got acquaintance with Miss Alice. B. Gibbens through the introduction by his friend, Thomas David, and they were mar-

ried in July 1876. James was happy with Mrs. James, who was not only a good wife but was really sympathetic with her husband's character and work, and yet, in a sense, his protector, therefore he felt that in her absence he was 'deprived of the wonted ear into which to pour all his observations, aphorisms, wishes and complaints.'⁽⁴⁾

Meanwhile James continued to work at his laborious composition of the psychology at Harvard. He was easily fatigued because of his ill-health, and his repining and occasional backsliding. In 1882 James went abroad for seven months partly for the purpose of obtaining an opportunity for the uninterrupted writing of his book.

But the progress of the work was very slow, owing to his limited time and the difficulty of the work. Having undertaken the extension and revision of existing psychological knowledge against the resistance of other philosophers, James did compose a systematic work on psychology, make observations, search out acceptable hypotheses, and wage a vigorous polemical warfare. In 1884 the famous 'James-Lange theory' of emotion was published. Thereafter his writings went smoothly and finished writing *The Principles of Psychology* in the spring of 1890.

His *Principles of Psychology* was successful and influential. It was so widely read not only by other psychologists but by all sorts of people, including laymen, and rich in concrete illustrations and curious. The *Revue Philosophique* described it as 'une oeuvre glorieuse', and Stanley Hall admired it as 'on the whole the best work (on this subject) in any language'. But all the readers did not admire it. It was unusual for a book of science. Some said that there was something trifling unseemly in the brilliance of the style; some commented on its lack of rigor and system.

Of James's psychological doctrines the most influential were probably the 'stream of thought' and the 'theory of emotion'; in the former, he wrote, most books adopt the so-called synthetic method, regarding 'simple ideas of sensation' as so many atoms. But it commits one beforehand to the very questionable theory that our higher states of consciousness are compounds of units. Consciousness is continuous, including 'transitive' as well as 'substantive' states and it has, besides a focus, a fringe, which is a vague and sliding stream of impressions and sensations at the periphery. When some of them overlap one another, experience of 'transition' is to be explained. In the latter the emotion is the perception of certain bodily changes and the bodily changes do not take place as the result of the emotion. 'Common-sense says, we lose our fortune, are sorry and weep... we are insulted by a rival, are angry and strike; but the more rational statement is that we feel sorry because we cry, and angry because we strike.'

James's *Principles* is so voluminous that it was not available for students. So two years after he produced an abridgment—the so-called *Briefer Course*, of which two fifths was new or rewritten—the rest 'scissors and paste'.

James never considered his *Psychology* as a permanent one as seen in a letter to his brother: "As 'Psychologies' go, it is a good one, but psychology is in such an antescientific condition that the whole present generation of them is predestined to become unreadable old mediaeval lumber, as soon as the first genuine tracks of insight are made. The sooner the better, for me!"⁽⁵⁾

For ten years after the publication of the *Principles* and the *Briefer Course*, his psychological writings were some fifty-five but confined to reviews and articles, and his main interests turned more and more towards philo-

sophy.

His first philosophical thesis appeared in *The Will to Believe*, published in 1897, and in an article entitled *Philosophical Conceptions and Practical Results* published a year later. In 1907 it got to its final culmination in *Pragmatism*—a book, with which James gave satisfaction.

In 1897, James wrote to Stumpf: "I fear I am ceasing to be a psychologist and becoming exclusively a moralist and a metaphysician."⁽⁶⁾ At that time the Spanish War and the Dreyfus case broke out, both of which deeply stirred his moral emotions. Feeling the need of a saving gospel, he wrote a few essays, whose doctrines dealt with fideism, with individualism, and with pluralism. *The Will to Believe* was the volume made upon these ten articles and addresses, in which he described his philosophy as follows: "Were I obliged to give a short name to the attitude in question, I should call it that of radical empiricism,... I say 'empiricism', because it is contented to regard its most assured conclusions concerning matters of fact as hypotheses liable to modification in the course of future experience; and I say 'radical', because it treats the doctrine of monism itself as an hypothesis, and, unlike so much of the half-way empiricism that is current under the name of positivism or agnosticism or scientific naturalism, it does not dogmatically affirm monism as something with which all experience has got to square."⁽⁷⁾

In 1902 James was selected to deliver some lectures at Edinburgh under the auspices of the Gifford Trust, with the result of publishing *The Varieties of Religious Experience*. His chief aim in these lectures was to give 'a descriptive survey of man's religious propensities'.⁽⁸⁾

At once he began to collect materials, but in the summer of 1898 after the strain of ten hours and a half of hard walking with a pack in the Adirondack Mountains, he was attacked by an

irreparable valvular lesion of his heart. Then in June 1899 he again 'got lost in the Adirondacks and converted what was to have been a 'walk' into a thirteen-hours scramble without food and with anxiety',⁽⁹⁾ which was to shorten his life later. So he entered upon a period of invalidism of his own peculiar sort. Much of his actual writing was done in bed, at times two or three hours a day was the maximum of work. After the unavoidable postponing of the lectures for a while, the first series began at Edinburgh, on May 16, 1901.

The lectures were a success, both in the number and in the interest of the auditors. As to this thesis, he wrote, in a letter to Miss Frances Morse, as follows : "The problem I have set myself is a hard one: first, to defend... 'experience' against 'philosophy' as being the real backbone of the world's religious life... and second, to make the hearer or reader believe, what I myself invincibly do believe, that, although all the special manifestations of religion may have been absurd (I mean its creeds and theories), yet the life of it as a whole is mankind's most important function."⁽¹⁰⁾

After suffering from illness at the Adirondacks, he decided to deliver only a half course at Harvard and indulge himself in systematizing his philosophy: 'I want now if possible to write something serious, systematic, and syllogistic; I've had enough of squashy popular-lecture style'.⁽¹¹⁾

But his speculation was interrupted by various lectures, such as Gifford, Hibbert and so on, though their acceptance brought him greater name. On August 21, 1896, he gave his address on 'Philosophical Conceptions and Practical Results' at California, as the philosophical movement to 'Pragmatism', which then did not excite much comment. Thus between 1902 and 1905 the more lectures he gave in various places, the more firmly he could grasp his funda-

mental principles — pragmatism and radical empiricism. Between July 1904 and February 1905, he wrote eight new philosophical articles, which were published after James's death under the title of *Essays in Radical Empiricism*, and successively in spring and summer of 1905 he delivered a series of five lectures, which were so successful that he felt them 'pulling on his line like one fish'.⁽¹²⁾ He evidently wanted to communicate his latest ideas to others without waiting to give them technical or systematic form. In 1905 after his splendid lecture in France and the one on Consciousness in Italy, he gave a lecture on Pragmatism as Lowell Lectures at Harvard in 1906, and it was published in May 1907 as *Pragmatism*.

James finally retired from university work, in January 1907, with the intention of passing the remainder of his days 'in a different manner, contemplatively namely, and with leisure and simplification for the one as my own intellect has received from the universe'.⁽¹³⁾ But this ambitious work he could not fulfill, that is *Some Problems of Philosophy* had been unfinished when he died. This was his only work written for readers, with his intention of 'abandoning the squashy popular-lecture style', and writing something 'serious, systematic and syllogistic'.

In 1909 his successful book, *A Pluralistic Universe*, was published, which was Hibbert lectures on 'The Present Situation on Philosophy', delivered at Manchester College, Oxford.

But James's philosophic system remained, as he himself said, like 'abridge begun and stopped in the middle of an arch'. In 1910 he lost his health again. In vain he paid his last visit to Europe for rest and treatment. On 19 August James breathed his last at his New Hampshire home, with Mrs. James and his brother Henry beside his bed.

Notes:

1. Perry, Ralph Barton: *The Thought and Character of William James*, Briefer Version, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1948, p.76.
2. Ibid, p.77.
3. Ibid, p.181.
4. Ibid, p.145.
5. Ibid, p.197.
6. Ibid, p.208.
7. James, W.: *The Will to Believe*, New York, Dover Publications, Inc., 1956, p.7.
8. James, W.: *The Varieties of Religious Experience*, New York, Longmans, Green And Co., 1902, p.4.
9. Perry, R. B.: p.255.
10. Ibid, p.257.
11. Ibid, p.272.
12. Ibid, p.294.
13. Knight, Margaret: *William James*, Middlesex, Penguin Books, 1950, p.56.

II

It is impossible for ideas to develop in isolation from the thought or spirit of the age. Particularly James who was not only broad minded but 'tough'-minded, was never tired of absorbing new ideas. Without closing his philosophy into a fixed system, he accepted all knowledge in every field with an open mind, and formed his own original ideas. Some acquaintance with his inherited thoughts as well as the "*Geistige Situation*" of his age is therefore indispensable to understanding his ideas.

James was not a 'solitary meditator', but rather an industrious researcher with a keen sensibility to every aspect of reality. Needless to say, the backgrounds of his ideas are manifold and various: from the natural sciences to religion, from German idealism to British empiricism, from his American colleagues to French thinkers.

Generally speaking we can outline his back-

ground as follows: Father's influence in his early days. Education in school. Evolutionalism. Visits in Europe. Renouvier. British empiricism. Bergson. Peirce.

James grew up in a household which relished ideas and in which arguments about them were made as its normal form of family intercourse. James's father was religious, as was mentioned above, and drew his religious ideas out of the depths of his own reflection and personal experience. James, however, did not accept wholly his father's theology. But he respected religious experiences as worthy of a hearing and as being data for which philosophy must supply a fitting hypothesis. He sought his own conclusions in a different way from his father's; that is, turning from the theistic tradition of European philosophy, he found his hypothesis through the studies of psychology and psychiatry.

Due to his father's peculiar way of educating his children, James acquired a taste for cosmopolitanism and an idiomatic facility in several languages which give to his thoughts an international character.

There is no doubt that he resembles his father in personal flavor and genius. He wrote, "For me, the humor, the good spirits, the humanity, the faith in the divine, and the sense of his right to have a say about the deepest reasons of the universe, are what will stay by me."⁽¹⁾ Like his father he was warm-blooded, effervescent and tenderly affectionate. Both men were unstable and impatient. Both were men of extreme spontaneity.

Thus his inheritance from father is not so much in the philosophical ideas as in a frame of mind religiously oriented and in his attitude toward life. But this father's influence decided, in a sense, his whole spiritual life.

James's interest in natural science, like his interest in painting, dated from boyhood. James devoted himself to the natural sciences, first

to chemistry, then biology and he was confronted with the Darwinian theory of evolution. The implications of this conflict with Darwinism turned James to a serious study on the biological sciences.

While James was a student, the physical principle of the conservation of energy was winning wide acceptance as well as the biological principle of evolution, and science was assuming a militant tone whereas religion was on the defensive. Philosophies of a naturalistic and materialistic sort were springing up. James was never converted to any of these, but he was at first very enthusiastic to Herbert Spencer.

Darwin's *Origin of Species* appeared in 1859 and Herbert Spencer announced his 'Synthetic Philosophy' in 1860. At the Lawrence Scientific School, he studied naturally these experimental and positivistic theories of evolution newly developed. Furthermore, in 1872—1873, and for five consecutive years from 1874, James gave a course in Harvard College on 'Comparative Anatomy and Physiology'. The doctrine of evolution which James taught was, of course, Darwin's, and in 1868 he had written reviews of Darwin's *Variation of Animals and Plants under Domestication*. The influence of Darwin was both early and profound, and its effects cropped up in diverse and often unexpected quarters.

James read Spencer's *First Principle* between 1860 and 1862 and was 'carried away with enthusiasm by the intellectual perspectives which it seemed to open'. In 1876—1877, James offered an undergraduate course on 'Physiological Psychology', in which Spencer's *Principles of Psychology* was used as text. James showed his sympathy with Spencer's theory. First, Spencer's dealing with the physiology of the nervous system, that is, the mind as a function of an evolved organism dealing with a physical environment corresponded closely to James's

biological approach to psychology. Second, Spencer's voluntaristic psychology suited James's mind.

James adopted the notion of *a priori* factor in human knowledge from Darwin's notion of spontaneous or accidental variation. He believed that the essence of Darwinism lay in the idea that, whether individual variations are great or slight, they prove and disprove themselves — survive and disappear — as their environment dictates. But a materialistic connotation of Darwinism did not satisfy his mind.

He was also dissatisfied with Spencer's neglect of the problem of consciousness. Spencer, and the more consistent evolutionary school as well, failed to explain how conscious molecules 'run together and form a unified consciousness.' Evolutionism, in this sense, can not prove the uniqueness and originality of consciousness against its physiological basis. James continued to use Spencer's work in the class, but dissatisfactions with Spencer's theory increased more and more. Spencer served James in the role of a punching bag, and for many years he kept him in his intellectual gymnasium. Spencer's thinking irritated him and at the same time convinced him that he was competent to form a judgment of his own. He acquired a sense of his own philosophical power through feeling so confidently, and seeing so clearly, that Spencer was wrong. Thus Spencer's part in James's development was the complementary opposite of Renouvier's: the one repelled him and the other attracted him, while both excited him.

For two years (1867—68) he was in Germany, hoping to continue his studies while regaining his health. He attended a Heidelberg University course in physiology. Meanwhile he read intensively in general literature and philosophy and studied the new technical works on psychology which was being established as an independent branch of science in Germany and France.

During this period, James read Kant and got acquaintance with Renouvier, which had great significance for the formation of his philosophical ideas. James read Otto Liebmann's *Kant und die Epigonen* and confessed admiration for the strength of this Kantian critique of Hume. He agreed with Kant in the opinion that there are structures in the mind not derived from experience, without accepting Kant's synthetic judgment and also Kant's transcendent, noumenal reality.

James's spiritual crisis (1869—72) came after a decade of scientific studies. It was precipitated by ill health. His spiritual crisis is an important factor in understanding the development of his ideas. This crisis may be thought of as something like a religious conversion. Philosophy is not, for James, a detached and dispassionate inquiry into truth. It is a "Weltanschauung, an intellectualized attitude towards life."⁽²⁾

The pure objective and disinterested research of science did not satisfy his mind. He began to ask the meaning of human existence and his own existence. "How other people could live, how myself had ever lived, so unconscious of that pit of insecurity beneath the surface of life?" He then turned his attention to the problem of morality and the importance of the will to believe. His experience made him a philosopher by necessity as well as inclination. He said himself, "I originally studied medicine in order to be a physiologist, but I drifted into psychology and philosophy from a sort of fatality."⁽³⁾ His philosophical interest burned continuously, but not regularly. As with Maine de Biran, the gravity of his philosophical task varies with his moods, and with the condition of his health. His philosophy was, as Perry remarks, never a mere theory, but always a set of beliefs which reconciled him to life and which he proclaimed as one preaching a way of salvation. He was too profoundly human to find a

consolation in heaven and too intellectual to become submerged in emotional belief. He tried to find the way of salvation in the philosophical investigation of mind and life.

During the struggle whether he should 'frankly throw the moral business overboard' or 'follow it and it alone, making everything also merely stuff for it,'⁽⁴⁾ James found Renouvier, who exercised the most important personal influence upon the development of his thought. He said "I think that yesterday was a crisis in my life I finished the first part of Renouvier's second *Essais* and see no reason why his definition of *free will* — 'the sustaining of a thought *because I choose to* when I might have other thoughts' — need be the definition of an illusion. At any rate, I will assume for the present — until next year — that it is no illusion. My first act of free will shall be to believe in free will."⁽⁵⁾ Renouvier's phenomenalism, his pluralism, his fideism, his moralism, and his theism were all congenial to James's mind. In the preface to *Some Problems of Philosophy*, James wrote that Renouvier "was one of the greatest of philosophic characters, and but for the decisive impression made on me in the seventies by his masterly advocacy of pluralism, I might never have got free from the monistic superstition under which I had grown up. The present volume, in short, might never have been written. This is why, feeling endlessly thankful as I do, I dedicate this textbook to the great Renouvier's memory."⁽⁶⁾

Renouvier started from Kant's philosophy, considering philosophy as a criticism of science. He proclaimed the principle of discontinuity in science and recognized the existence of freedom in the phenomenon. For him freedom is the first principle of knowledge, because knowledge depends on a choice of free will when thought confronts contradictions. He proposed

also the principle of relativity for the metaphysics. For James, Renouvier was first of all an empiricist. Renouvier's polemic against the metaphysical notions of substance, of infinite in existence, and of abstract ideas seemed to him more powerful than anything which had been written in English. The idea of freedom comes from the argument that thinking must be free if it is to be either true or false; so that it can mean nothing to discuss the question of freedom unless one is free to affirm or deny it. More important for James's pluralism was Renouvier's argument that the world may compose a whole without being determined by it. Therein lies the whole ground of that priority of part to whole which James concluded was the essence of empiricism.

But divergence appeared when Renouvier tended toward monadism. Monadism is definitely contrary to James's view of any interpenetrating and continuous flow of existence, where causality is a real transition and where two can be both the same and not the same. Renouvier was more rigorous and systematic, but less bold. James felt himself to be too 'bottomless and romantic' to suit Renouvier's intellectualism.

Though James was stimulated and influenced by the various schools, he belongs unquestionably to the British empirical school. He said that he was happy to say that it was the English-speaking philosophers who had first introduced the custom of interpreting the meaning of concepts by asking what difference they made for life... He sincerely believed that the English spirit in philosophy is intellectually, as well as practically and morally, on the saner, sounder, and truer path. He dedicated *Pragmatism* to an English philosopher, John. S. Mill; "From whom I first learned the pragmatic openness of mind and whom my fancy likes to picture as our leader were he alive today."⁽⁷⁾

But his attitude towards British empiricism is both negative and positive; he opposed its nominalism, associationalism and positivism. According to James, the empiricisms are wrong when they regard the mind as merely a passive repository of experience, and when they affirm some sort of outlying order of existence, constituting nature or the world. He abandoned the notion that mind is a *tabula rasa* and recognized the importance of inborn traits and subjective interests. Also he considered experience, not a series of distant impacts, but a being which is combined by some ulterior agency, and which yields connections as well as terms —journeys as well as stations.

"Without doubt the most important philosophical and personal attachment of James's later years was that which he formed with Bergson."⁽⁸⁾ Both men developed almost the same idea about time and reality, and the influence between them were mutual.⁽⁹⁾ They respected each other's philosophy and evaluated each other highly even when they had difficulty in understanding each other's standpoints.

James did not hesitate to admire and praise Bergson. He said, "I have to confess that Bergson's originality is so profuse that many of his ideas baffle me entirely."⁽¹⁰⁾ When Bergson sent him *Matiere et Memoire*, he wrote to Bergson, "It makes a sort of Copernican revolution as much as Berkeley's *Principles* or Kant's *Critique* did, and will probably, as it gets better and better known, open a new era of philosophical discussion."⁽¹¹⁾ These words of praise show how much James evaluated highly Bergson's thought and sympathized with him. They suggest also that they had not only similar ideas, but a common mentality. James praised Bergson's ideas as a turning-point of history of ideas—a turning from the substantial, static world-view to a functional, dynamic one.

On the other hand Bergson admired James's

original and keen insight to the reality. Bergson compared James to a fire-place and said, "Un foyer ardent était là, dont on recevait chaleur et lumière." Thus, they discovered not only their doctrinal agreement, but their deep personal affinity too. Both were men of profound humanity. Each possessed a degree of artistic sensibility and keen insights and intuitions.

The life-long intercourse with Peirce also, needless to say, had great importance for James's thought formation. The influences between James and Peirce were reciprocal. Peirce's earliest writings and conversations seem to have left an unmistakable imprint on James. Both developed the idea of pragmatism at almost the same time but with somewhat different connotations.

Peirce seemed to help him to free himself from his early admiration for the empiricism of Chauncy Wright, whom Peirce represented to James as a superficial mind because of his attempt to reconcile the 'really incongruous' ideas of Darwin and Mill. James admired Peirce's self-assurance and intellectual boldness. For example, after attending Peirce's lectures on 'British Logicians', James wrote to his brother that Peirce 'is certainly très fort. I never saw a man go into things so intensely.'⁽¹²⁾ Of all colleagues with whom James had a relationship, Peirce was his most intimate friend intellectually, and their mutual stimulation to a large extent helped each other to develop his philosophy.

Notes:

1. Perry: p.40.
2. James, W.; *Some Problems of Philosophy*, New York, Longmans, Green and Co., 1936, p.6.
3. Perry: p.78.
4. Ibid, p.120.
5. Ibid, p.121.
6. Ibid, p.153.
7. James, W.; *Pragmatism*, New York, Longmans, Green And Co., 1919.
8. Perry; p.338.
9. Milic Capek talked three mutual influences between James and Bergson. "1. The influence of old James upon Bergson. Bergson not only quoted James's *The Feeling of Efforts* but also was stimulated by certain passages in his psychology in setting up several important problems which *Matière et Mémoire* tried to answer. 2. James expressly admitted his debt to Bergson in his last two books: *A Pluralistic Universe* and *Some Problems of Philosophy*. 3. The influence of James's philosophy of religion on the author of *Les Deux Sources de la Morale et Religion*; whose central problem of the mystical experience and divine personality was set by *The Varieties of Religious Experience* —as well as *A Pluralistic Universe*." *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. X. p.331.
10. James, W.; *A Pluralistic Universe*, Yew York, Longmans, Green And Co., 1916, p.226.
11. Perry; p.341.
12. Ibid; p.119.

III

James was trained as a medical doctor, and then turned to psychology. Notwithstanding his scientific background, he did not stick to the laboratory nor was he ever drawn to reflect closely on its methode. His mentality is quite different from the mathematical and logical one. On the contrary he possessed an unusually developed sensibility to the predicament —moral, political, religious and philosophical — of his age.⁽¹⁾ He devoted his whole life to the task of creating what, it seemed to him, his age so sorely needed, a new philosophy. These therapeutic concerns had a great influence on the character of his pragmatism.

James applied his pragmatic method to his theory of *The Will to Believe* in an earlier period and then to his theory of *Radical Empiricism*. Both these theories had their origin and explanation in the fact that James was, first and

foremost, a very eminent introspective psychologist and a therapist of the soul. Thus his pragmatism can be characterized in a sense as humanism.

Pragmatism depends primarily on modern empiricism originated in England. But it rejects the sensational, passive and intellectualistic characteristics in the notion of empiricism. It considered experience as a challenge to the environment of an organism. It regards consciousness or intellect, which generates from the process of these experiences, as a tool or an instrument for the adaptation to or control of life-environment around him. Experiences are not materials or constitutive elements of intellect or knowledge. On the contrary, intellect or knowledge is regarded as the material or constitutive factors of experiences.

As these characters indicate, pragmatism was influenced by the new biology, physiology or psychology which started from the evolutionary theories. But it diverged from the irrational and extreme voluntaristic philosophy of life by adopting the experimentalistic methodology of modern science. That is, it intended to use a scientific method in dealing with concrete experience and tried to be an experimental rationalism.

The beginning of Pragmatism can be traced to Peirce.⁽²⁾ Peirce's pragmatic principle was a maxim designed to promote the clarification of the meaning of conceptions and propositions. The meaning of an intellectual conception or idea is the envisaged practical consequences of the conception. His famous maxim was "In order to ascertain the meaning of an intellectual conception one should consider what practical consequences might conceivably result by necessity from the truth of that conception; and the sum of these consequences will constitute the entire meaning of the conception."⁽³⁾ Also "Consider what effects, that might conceivably have practical bearings, we conceive the object of our

conception to have. Then, our conception of these effects is the whole of our conception of the object."⁽⁴⁾

Pragmatism, for Peirce, is a method and a theory of meaning derived from the natural sciences and applicable to philosophy. It was enunciated with remarkable theoretical precision by Peirce and developed and applied by James. The pragmatic maxim is, for James as it had been for Peirce, a method of making our idea clear and a test of the meaningfulness of our concepts and propositions. And James proposed the pragmatic test of meaning as 'a method of settling metaphysical disputes that otherwise might be interminable.'

However, Pragmatism developed by James embraces not only a theory of meaning but likewise a theory of truth, and thus extending the scope and function of it, James went far beyond Peirce's. Truth is a good guide to conduct,⁽⁵⁾ falsity is not. It is a method of determining the truth or falsity of propositions by checking up whether they do or don't fulfill our purposes and satisfy our biological and emotional needs. A true proposition is one the acceptance of which leads to success, a false proposition is one which produces failure and frustration. Truth is a relation completely immanent to a human experience. Ideas are instruments of the activity, and thinking is teleological. The truth of a proposition, therefore, consists in the fact that it is 'useful', or 'gives a satisfaction.'⁽⁶⁾

The pragmatic test, then, must be its effects on us, its practical consequences. True ideas are those that we can 'assimilate, validate, corroborate and verify.' The true is useful because it is true and it is true because it is useful.

It clearly shows that his therapeutic concern is in it, because for James pragmatism is not only the theory of meaning as Peirce insisted, but also a theory of truth. An idea is true when it works; and an idea works when it leads

to satisfactory outcomes. We may consider any idea true if it 'proves itself to be good in the way of belief.'

In introducing a reference to satisfactions, expediency, practicability and also instrumentality in his definition of truth, James in this way expanded the Peirce's original meanings of pragmatism.

Although James claimed that pragmatism is merely a method and a theory of truth, in reality he applied this method to the problems of metaphysics, and expressed his theory of reality in *Essays in Radical Empiricism* and *A Pluralistic Universe*.

James's metaphysics supported his own native conviction that the reality is an infinitely richer, warmer, more varied and potential one than Nineteenth Century materialists would have us believe. James finds pluralism pragmatically preferable to monism. The 'block-universe,' the rigoristic deterministic system of both materialistic and idealistic monisms did not satisfy him. Such systems cannot satisfy all the demands of our nature, and hence they cannot be wholly true. Successful action presupposes the recognition of variety and diversity in the world.

Thus the main outline of James's ontology is fairly clear. The world is a living and active many-and-one, 'strung-along and flowing,' with real possibilities and indeterminations. The ultimate reality is 'that sense of our own life which we at every moment possess,' and all other forms of reality derive their quality from this. He puts his faith in a living native human experience. Reality is experience itself prior to human thinking about it. Here we can find his epistemological theory of the limits of conceptual knowledge. "...reality cannot be thus confined by a conceptual ring-fence. It overflows, exceeds, and alters."⁽⁷⁾ We may glimpse it, but we can never grasp it by concept. "Conceptual knowledge is forever inadequate to the fulness of the

reality to be known. Reality consists of essential particulars as well as of essences and universals and class-names, and of existential particulars we become aware only in the perceptual flux."⁽⁸⁾

What we grasp by concepts is always some substitute for it which previous human thinking has peptonized and furnished for our understanding. At the basis of his ontology, thus, lies the insight into the finitude of our concepts and of our conceptual apprehension. The world which we arrange in categories is 'selection within the superabundance on the unselected.'

For James, reality cannot be confined by a 'conceptual ring-fence.' It overflows, exceeds, changes. It may turn into novelties, and can be adequately known only by following its singularities from moment to moment. The conceptual world is a kind of cut, or excerpt, or selection from this flux or continuum. It is instrumentally useful in representing reality externally, statistically and schematically. But it fails 'to touch even the outer hem of the real world, the world of causal and dynamic relation of activity and history.'

Then what is this flowing and ever-continuous reality? James advocates here very important and new concepts, that is, the idea of pure experience. He reaches this idea from a radical or pure empiricism, which opposes both the classical rationalism and also the traditional English empiricism. For James empiricism is wrong in saying that our psychic life consists of a multiplicity of independent sensations, and rationalism is wrong in saying that these are combined by categories resident in the mind *a priori*. The immediate experience is a unity in diversity. For James, whatever is experienced is real. We must take experience as it exists before it has been manipulated by conceptual things—experience in its purity and innocence—if we would reach reality. We must go behind the conceptual function altogether and look to

the more primitive flux of the sensational life for reality's true shape. Experience in its meta-physical signification—as it is finally represented in James's last publications, is, thus, that potency in man through which he seeks to the real, to the absolute—beyond the schematism of concepts, defined by pragmatism. It is a kind of process of absorption or absorption of the shaped world into the worldless immanence of becoming, into the demonical stream of creation.

James, therefore, did not accept the atomic structure of experience. He began with a formless continuum. That the reality is composed of 'pure experience' means at least that it is like experience in being through and through fluent and qualitative. Also, experience as a whole is selfcontaining and leans on nothing. Pure original experience is neither subjective nor objective. It is the primordial stuff from which consciousness and things emerge.

Then what is experience? Here James seems to vacillate between two views. That is, reality is pure experience, which is independent of all thought, to which the life of the infant or semicomatose person approximates; on the other hand James said that reality is the entire field of the adult consciousness, experiences permeated with thought.⁽⁹⁾ If reality is composed of experiences and so of consciousness, what is the nature of consciousness for James?

Even though his idea about consciousness is not a consistent one, it has a great significance in the history of idea. James was unalterably opposed to the traditional supposition that consciousness can be correctly described in terms of simple ideas or sensations or any other mental element which later come to be built up into complexes in accord with psychological law. He said, "No one ever had a simple sensation by itself. Consciousness, from our natal day, of a teeming multiplicity of objects and relations, and what we call simple sensations are re-

sults of discriminative attention, pushed often to a very high degree." Simple ideas or other mental elements may indeed be carved out of the stream of consciousness. But they are not original building blocks. They are artificial entities, discriminated by attention for the practical purpose of guiding phases of consciousness to more satisfactory outcomes. It is not a chain of discrete entities but a flowing stream of interpenetrating pulses of awareness. Fluency, continuity and change are the dominant characteristics of mental life.

The second respect in which James's theory of consciousness distinguishes itself from other empirical theories is in that he protests against treating the stream of consciousness as a function of the brain and nervous system of the organic body, though James always pays much attention to physiological facts. He firmly insisted that there is much more in consciousness than is represented by brain processes and other bodily functionings, and he claimed that there is no evidence to show that the brain produces consciousness. Rather the indications are that the brain is an instrument which consciousness uses in its efforts to act efficiently upon the external world. Thus body and brain is the tool of consciousness, and consciousness is fuller and richer than the organic body in its dynamic occurrence and can never be exhausted by the processes of physical elements.⁽¹⁰⁾

Consciousness, also, for James, is not primarily a matter of intellectual activities or cognition as traditional theories of mind argued it. It is rather impulsive, affective, passionate and volitional throughout its course, and only intellectual at times when their problems are given, that is, when they are confronted with a situation which needs help from an intellect.⁽¹¹⁾

However James never solved the problem of consciousness to his own satisfaction. "He analysed quite adequately the function of consci-

ousness, but he had a difficulty in defining what is the nature of consciousness. He had succeeded in describing consciousness as a 'stream' as something continuous, whose parts were organically related and which might, therefore, be expected to function as an 'organ'. But when he attempted to fit this unified mental activity into a physical world, whose elements were atomic and whose relations were 'external', he saw the hopelessness of his task."⁽¹²⁾ James, then, (at the time of his *The Principles of Psychology*), had rejected the assumption that consciousness is a distinct order of existence and adopted a relational theory of consciousness. "There is no thought-stuff different from thing-stuff, ..., but the same identical piece of 'pure experience' (which was the name I gave to the *materia prima* of everything) can stand alternately for a 'fact of consciousness' or for a physical reality, according as it is taken in one context or in another."⁽¹³⁾ In the world of mind stuff, as in a world of a matter, any individual field of consciousness must be a relational complex, distinguished from the other furniture, not by its elements, but by its structure. He denied that consciousness is an entity or stuff or subjective existence, such as Locke and his followers supposed to be the immediate facts of experience, and considered it as a function. There is indeed a function in experience which we may call by the name 'consciousness.' The field of consciousness is a collection of physical things cut out from the rest of the physical world by virtue of new functional relations which our perceiving or knowing those objects establishes among them. Consciousness is thus a function which objects, not previously mental, come to have when grouped in a certain way. Mind and consciousness occur in the natural world in which also all sorts of other nonmental relations occur, and they are as natural in their occurrences as those other nonmental relations. Perceiving and

knowing, meaning and believing, loving and hating are the processes which have the same complex of events in which walking and shining or raining occur. Experience, in this sense, is in effect a system of relationships."⁽¹⁴⁾ "Ces expériences pure existent et se succèdent, entrent dans des rapports infiniment variés les unes avec les autres, rapports qui sont eux-même des parties essentielles de la trame des expériences. Il y a 'Conscience' de ces rapports au même titre qu'il y a 'Conscience' de leurs termes."⁽¹⁵⁾ What he did in *Essays in Radical Empiricism* was to expand his psychological theory of consciousness into a metaphysical doctrine of pure experience and he tried to overcome the dualism of individual consciousness and universal consciousness as well as of subject and object, body-mind.

We have now surveyed James's theory of reality and its development. Let us review briefly the development of his metaphysical ideas. James started his meditation from the immediate evidence of self-consciousness. He analysed introspectively this naive, immediate consciousness and grasped it as a continuous flux of multiplicities of sensations, of interpenetrating qualities. He developed this idea of 'the stream of consciousness' and came to the idea of 'pure experience'. James frequently argued as though experience and conscious experience were the same thing.⁽¹⁶⁾ James thus elevates the concept of experience to the rank of the ultimate reality. It is an integral whole from which subject and object come out. "It is a that, an Absolute, a 'pure' experience on an enormous scale, undifferentiated and undifferentiable into thought and thing."⁽¹⁷⁾ "As 'subject' we say that the experience represents: as 'object' it is represented. What represents and what is represented is here numerically the same... Its subjectivity and objectivity are functional attributes solely, realized only when the experience is 'taken' i. e., talked

of, twice, considered along with its two differing contexts respectively..... The instant field of the present is at all times what I call the 'pure' experience. It is only virtually or potentially either object or subject as yet."⁽¹⁸⁾ The difference of subject and object or thought and thing is nothing but functional and not ontological.

This relational theory of consciousness afforded the possibility of escape from the solipsism and also from dualism. For this purpose James intended to be very faithful to the experience itself. "To be radical, an empiricism must neither admit into its constructions any element that is not directly experienced, nor exclude from them any element that is directly experienced."⁽¹⁹⁾

We may distinguish three stages in the development of his philosophy. The pluralism of the *Psychology* (1890); his theory of 'pure experience' (1904—5); and finally the theory of 'compenetration view' of the moments of experience to each other in the last three years of his life.⁽²⁰⁾

When James began to study philosophy, the counter-movement to romanticism and idealism had appeared and Western thought seemed to be defenseless against the powerful influence of the newly arising materialism backed up by sciences and technology. In Germany, D.F. Straus, L.A. Feuerbach and K. Marx developed materialism from the Hegelian left, and J. Moleschott, L.Büchner and E.F. Haeckel proclaimed the new materialism. In France, the positivism of A. Comte was being continued and popularized by H. Taine and E. Renan, and Le Dantec and Abel Rey proclaimed the *scientisme*. In England Spencer's and Darwin's prestige increasing and were being diffused by T.H. Huxley. James, as a trained scientist, inclined naturally to these movements.

Thus, James had to face two dominating thoughts of later Nineteenth Century, i.e., (monistic and deterministic) idealism and materialism

(including scientism and evolutionism). James's main concern was, therefore, how to defend his realism and pluralism against monistic philosophies on the one hand, and freedom and autonomy of mind, that is, humanism, against deterministic philosophies on the other hand.

According to Hegel, reality is not static and permanent, but is in the process of dialectic development or becoming *Werden*. But, this becoming takes place within the permanent absolute mind and, therefore, Hegel's philosophy is monistic and deterministic. On the other hand, James was much disturbed by the allegedly 'materialistic' and 'deterministic' implication of the evolutionary theories. The main trend in James's philosophical development consists, then, in his persistent effort to find a psychological and philosophical justification for his initial feeling or hunch against current materialistic automation theory of mind.

In conclusion, James had two purposes in his philosophy; namely, to justify pluralism, the infinite potentialities and possibilities of the reality and life, and the freedom and autonomy of mind.

These motivations are related also very intimately to his therapeutic concern. He intended his philosophy to be the defender of humanism. He rejected monistic doctrines because of their antihumanistic nature. According to James, monism "does not account for our finite consciousness... It creates a problem of evil... It contradicts the character of reality as perceptually experienced... It is fatalistic..."⁽²¹⁾ "Pluralism' on the other hand, is neither optimistic nor pessimistic, but melioristic, rather."⁽²²⁾

We might say that he was a physician of the soul more than a metaphysician. He came into philosophy from the medical science, and had a basically therapeutic concern in all his reflections. He wished to help his fellow men, as well as himself, to live more vigorously and

more wholesomely.⁽²³⁾ He would never take any scientific conclusion as the final truth about the life and universe. He emphasized the importance of inner life rather than social life, feeling rather than reason, will rather than intellect.

Notes:

1. Gallie, W. B.; *Peirce and Pragmatism*. Middlesex, Penguin Books, 1952, p.22.
2. Peirce adopted the term "Pragmatism" from Kant's "Pragmatische" in *Grundlegung zur Metaphysik der Sitten*, and in *Kritik der Reinen Vernunft*, Trans. Methodenlehre, Ch. II, Sec. III. But this term can not be found in "How to make our ideas clear". It was expressed for the first time by James when he exposed the theory of Pragmatism in his article "Philosophical conceptions and practical results" (1898). Peirce did not use this term until 1902 when he was asked to contribute to the *Dictionary of Philosophy and Psychology* by M. Baldwin. However this term was already used in ordinary conversations and it was spread anonymously.
3. Peirce, C.S.; *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Cambridge, Harvard University Press, 1934, 5.9
4. Ibid, 5.2
5. James, W.; *Pragmatism*, p.209
6. Ibid, p.203
7. James, W.; *Some Problems of Philosophy*, New York, Longmans, Green and Co., 1936, p.99
8. Ibid, p.78
9. Thilly and Wood; *A History of Philosophy*, New York, Henry Holt & Co., 1957, p.641
10. Lamprecht, Sterling P.; *Our Philosophical Traditions*, New York, Appleton-Century-Crofts Inc., 1955, p.457
11. Ibid, p.458
12. Schneider, H.W.; *A History of American Philosophy*, New York, Columbia University Press, 1947, p.540
13. Ibid, p.66
14. Ibid, p.459
15. Ibid, p.226
16. Ibid, pp.46—47, 65—66
17. Ibid, p.134
18. Ibid, p.23
19. James, W.; *Essays in Radical Empiricism*, New York, Longmans, Green and Co., 1922, p.201
20. Perry named these three stages as psychological, phenomenailstic and metaphysical. *The Spirit of William James*, New Haven, Yale University Presss 1938, Ch., III.
21. James, W.; *Essays in Radical Empiricism*, pp. 138—9
22. Ibid, p.142
23. Lamprecht, S.P.; *Our Philosophical Traditions*, p.454. With regard to this therapeutic concern, James and Descartes had much in common. Both studied medicine and intended to make philosophy for the service of "bien vivre."

奈良工業高等専門学校 研究紀要 第2号

昭和42年3月15日発行

編集兼
発行者 奈良工業高等専門学校
大和郡山市矢田町

印刷所 奈良明新社
奈良市橋本町36

RESEARCH REPORTS

of

NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 2 , 1966.

CONTENTS

X-ray Investigation of Residual Stress Measurement on Grinding	
High-Carbon Steels	Jyunichi ARIMA . . . 1
X-ray Investigation of Stress Measurement on Cu-Zn Alloys . . .	Jyunichi ARIMA . . . 11
An Approach to the Study of Physics —Similarity in Science— . . .	Nobutaka ITO . . . 23
Physical Analysis of the Enegy Transducing Reaction in Mitochondria	
.	Nobutaka ITO
.	Kozo UTSUMI
.	Ayako NAKATSUKA . . . 31
Annealing of Over Head Conductor by Fire	Shuzo IMANISHI
.	Yasumasa NOGUCHI . . . 37
Damage by Snow of Trolly Wire of Electric Railway	Shuzo IMANISHI
.	Mitsuo TAKAOKA . . . 43
Focusing Lens for Electro-Magnetic Waves	Takashi AZAKAMI . . . 47
H-Guide Mode Composed by Surface-Wave Mode	Takashi AZAKAMI . . . 55
A Romantic Vision and Hard Fact	
—Frank Norris as a Literary Critic	Sadao WATANABE . . . 61
Melville's Metamorphosis in <i>Mardi</i>	Mizuo SOKUSEKI . . . 71
William James and His Ideas	Hirotake TAKITA . . . 83