

アメリカの Biophysics (医学物理学)

(滯米メモから5 終回)

糸 川 英 夫

1. Introduction

Biophysics という名称はアメリカで発明された多くの言葉の中の一つである。Biochemistry (生化学) に対応するもので、近代物理学の生理学、医学への応用を対象とし、学問として極めて新しく多くの若い研究者を fascinating new field として惹きつけている。日本では物理の医学への応用は生理学と解釈されているが、アメリカでは生理学 (Biology) と Biophysics はそれぞれに独立した学問分野として考えられている。

Biophysics の一つの特徴は後述のように、多くの物理学者によって成立していることで、ある意味では応用物理学の一つの field とも見られる。すなわち、物理学を取り入れた医学というより、医学を対象とする物理学を考えた方がよい。

アメリカの工業界にとっての大問題は engineer と scientist の絶対的不足で、1954 年には要求の 50% が辛うじて満される情況にあり、今後情勢は悪化の傾向顕著である。すなわち demands の増大に反して、junior course にいる学生中、理工科系への志望者は減少しつつあり、今後数年間の卒業中理工科系卒が著しく減少することが予告されている。こうして工学会社、例えば航空工業会社などからの深刻な demands があるにも関わらず、engineering と余り関係のなさそうな "Biophysics", に新しい学問の領域としての魅力からだけ、案外希望が多く、これに志す若い研究者の多いのに驚く。何といっても経済的に豊かで生活が安定しているからであろう。

2. New Physics の影響—mass-spectrometer, Betatron

New Physics の technique の Biophysics への影響はかなり大きいのはむしろ当然のことであろう。すなわち mass-spectrograph, betatron, synchrotron, isotope などはレントゲン器材と同じように病院で実用されている。

tracer としての isotope の応用は何も新しいことではないが、radio active isotope と Geiger-Müller-counter という組合せはもう古く、新しい所ではいずれも non-radioactive isotope (stable isotope) を tracer として使い、この検出に mass spectrograph が用いられてい

る。stable isotope の医学上の応用から各病院が競って mass spectrograph を備え付けるに到ったもので、筆者の visit した所でも Johns-Hopkins 大学に 3 基、Institute of Cancer に 2 基、という具合にあるばかりでなく、もっと小さい町病院でも備え付け始めている。例えば Pittsburgh の Montefiore Hospital などにも Consolidated-Nier の標準型 mass-spectrometer がある。Dr. Nier は University of Minnesota の physics の教授で mass-spectrometer の有名な designer、この研究を California, Pasadena にある Consolidated Co., が工業化して Consolidated Nier の名で売出しているもの。最近用いられているのはこの中 Model 21-201 の permanent magnet を用い、zero-method で dial の目盛をよむ型と、model 21-103 の electro-magnetic type の磁場を用い、プロマイドにスペクトルが record される型である。この型で一回の測定、記録に 15min を要し、この上に現像を要する。インクライターを用いた直記式のもは一つも見なかった。Model 21-103 は市価 \$ 3,000 で、邦貨約 1200 万円となるかなり高価なものである。このため、Johns-Hopkins 大学のような所では病院の地下室で、病院専用のを自製している。設計製作にあたっているのは Dr. Theodore Enns という物理学者で一番大型のは 180° 型で磁場の半径 6 呎、磁場間隙 3 呎、磁場の強さ 3000~4000 Gauss、主な目的は窒素と炭酸ガスで、 $N^{15}(N_2)$, C^{13} , C^{18} , (CO_2) を Bio-chemical tracer として用いている。collector が二つあり、この ratio をとる。ion の path の所はクローム鍍金をした銅板を用いている。排水用ポンプとしては oil pump を嫌って Hydrogen mercury pump を使用している。

もう一つ小型の方は磁場半径 10cm, 60° 型で相対値でなく絶対値がとれる。電流トランスを小さくするため High-frequency source を使用、なお大型の方は stable-isotope 専用であるが、小型の方は electronic-meter がついていて radioactive isotope も stable isotope も両用できるように設計されている。製作費用は大型の方が \$ 6,000 小型の方が \$ 2,000 市販価格の $1/10$ という所である。

以上の二つと別に第 3 番目のものが現在製作中で、これは 60° 型で collector が 3 ケつき、なお Sun-born Co. の直記式記録器 (後述) がつき、直接記録ができる筈。これは専ら respiration (呼吸) の解析用で、呼吸

ガス分析に用いられる筈。呼吸ガス分析と同時に麻酔ガス分析にも用いられるであろう。

betatron : 一はレントゲン療法に代って、更に強力なガンマ線 source として物理療法に登場している。これは isotope tracer を用いる massspectrometer と異なり, betatron から出る強烈な ray で直接患部を衝撃するので, 例えば cancer (がん) 治療などに応用されている。臨床専用として最大のものは University of California (San Francisco) Medical Center にある 70 Mev のものであるが, この他にも例えば Illinois 大学では 22 Mev の betatron を治療用に用いている。

医学用以外で visit したあとの tron 類は Chicago 大学の 100 Mev synchrotron, M. I. T. の 90 Mev synchrotron 及び, Washington 大学の 10 Mev の cyclotron で, この中 Chicago 大学のものがこの中では最新で, ちょうど完成して動き出した所。

なお massspectrometer を備付けている病院は 1953 年現在で全米に約 60 ある。

3. 注目すべき Biophysicists たち

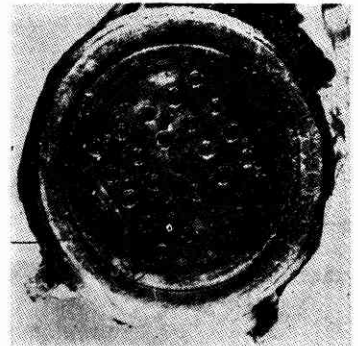
Biophysics を専攻している研究者には二通りあり, 医学部を卒業してから物理, 又は電子工学科のコースを又卒業した人と, その逆で, 物理又は工学出身で医学部に入学者がある。こういう境界領域の学問に進む研究者が多い一つの原因は大学制度の自由さと, やはりその裏付けになっている経済力が見逃せない。

ここにそれらの Biophysicists の中から 3 名を選び, どんな研究が行われているかの example として紹介して見よう。

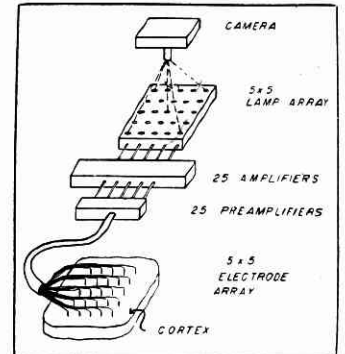
Dr. John Hilly は medical course をすませしてから C. I. T. で electronics を学び, いわゆる double E (Electrical Engineering) をもっている。現在 University of Pennsylvania の附属研究所の Eldridge Reeves Johnson Foundation for Biophysics (日本に来ていた Dr. Brank がこの所長であったが, 現在は Johns Hopkins 大学の総長) の有能な研究者で, 30 歳そこそこの若さであるが, その仕事は有名である。Otts Glasser の Medical Physics の中で massspectrometer を用いた gas 分析の項の執筆者であるが, 現在は脳中の一点に multi-electrodes を入れ, これから脳電位分布を空間的及び時間的に測定する研究を続けている。第 1 図がその electrodes で 8 mm × 8 mm の square の中に 5 × 5 = 25 個の電極を配置し, これを 25 個の増幅器で増幅し, 25 個の放電管を点火してこの輝度分布を Camera でとる (第 2 図)。脳波の増幅器は 1 個でも相当に面倒なもの

を 25 個作って全部を同一性能に調整するのは厄介極まることであるが Hilly は全然助手を用いないで全く一人で増幅器の組立, 配線, 実験, 測定, をやっている。彼は electronic engineer としても優秀な engineer でしかも大変勉強家である。25 個所の脳波電位分布を最後に表現する presentation method で大分頭を悩ましたようで, いろいろな試みをやった末, 25 個の放電管を点滅させる方法をとっている。

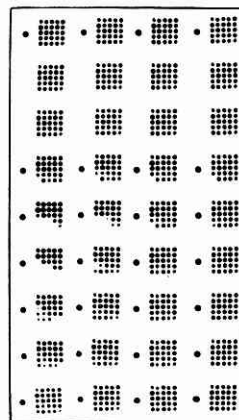
第 3 図ははこの一例。ブラウン管表示法は一応考えて採用していないが, New York の



第 1 図 8mm × 8mm の中に 25 個の電極を入れた teflon piece



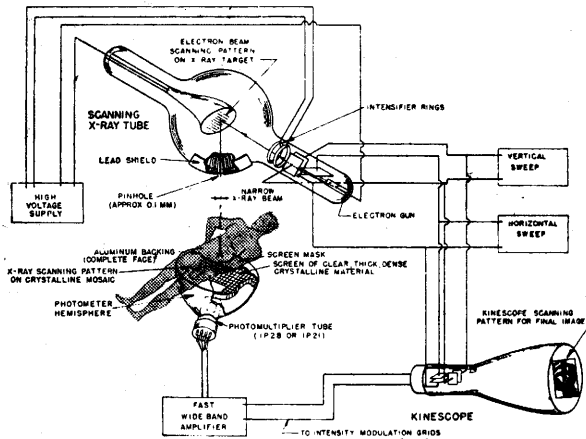
第 2 図 25 個の electrodes から pick-up した電圧を 25 個の amplifiers に導き増幅して 25 個の放電管ランプを点滅させ, これを camera でとる。



第 3 図 25 個の放電管の点滅状態をカメラでとったもの。

I. R. Ely の Medical Electronics Secession では, TV のようにブラウン管上に二次元ポテンシャル分布を present する方法を発表した人がいた。

Dr. Robert Moon は Chicago 大学の Institute of Biophysics の所員で, 年齢は 35 歳位か。彼の多年の問題はレントゲン写真法の改良で, その原理は第 4 図のようにレントゲン管から出る gamma-ray を pin-hole を通して外に出し, electron gun の scanning によって gamma-ray が被写体と二次的に scanning する。被写体の背後には multiplier photo tube をおいて, 透過ガンマ線を電気変換し, これを電氣的に増幅して, 最後の結果を TV の受像管に出す方法である。TV-技術, multiplier-



SCHEME FOR THE AMPLIFICATION OF THE FLUOROSCOPIC IMAGE

第4図 Moon のレントゲン透視増減法, Scanning Roentgen tube と multi photo tube の組合せで, TV 受像管に映像させる。

photo tube というアメリカ電気工学の最新技術をレントゲン透視法に持ち込んだわけである。

Moon はこの研究中 L-Cathode の研究が必要となり, 日本の通研における L-Cathode の研究を知って大いに敬意を表していた。

Dr. Kurt Lion は M. I. T. の Dept. of Biology で Biophysics を専攻。彼はヨーロッパから比較的最近アメリカへ渡って来た。40 歳位であろうか。非常にエネルギッシュな研究者で, 最近の研究の中注目に値するものが少くとも 3 つある。第 1 は電気生理学で問題になる signal と noise の分離法で, 二つのブラウン管を用い, 一方のブラウン管上にとった増幅器出力をスリットを通して multiplier photo tube でうけ, これを第 2 のブラウン管の水平軸にかけるという巧妙な方法で, signal と noise の選別をやる。第 2 の研究は 4 月の学会で発表があり (New York), Moon の研究と同じくレントゲン写真の増感法であるが, Moon の方法と異なり, ガンマ線を scanning させないで二次元的に照射し, これを Moon が Multiplier phototube と amplifier で増感したのに反して, 一種の Geiger-counter の集合体を被測定体の背後におき, 透過ガンマ線の強度に応じて micro-geiger-counter を放電させ, この跳躍現象を利用して約 1000 倍に感度を上げる。今の所「かげ画」的なものしかとれないが proportional counter を適用することによって今後は濃淡画がとれるようになる。Lion は一種の天才で独創力に富み, 第 3 の研究として, 二極の放電管を用いた非常に珍しい pick-up を発明し, これを用いた plethysmographic (指頭血圧計) を試作している。放電管を管外から高周波で excite すると, 管内の二極の間に D.C. potential が生ずるといふ新しい効果を発見したものである。この公表は未だしていないので大変秘密にしている。これを筆者に見せてくれるのは筆者の超音波インピーダンス法による微小変位測定法に大変感心した結果, そのお返しとしてであった。

4. Information Theory

さて, atomic physics, TV-electronics, などの諸技術が前述のように Biophysics に活発に適用されているが, 通信工学分野から出た information theory も技術の new-look として Biophysics に apply され始めている。アメリカ中何箇所かでこれが考えられているが, 最も進んでいるのは Boston の Massasetute General Hospital の Dr. Navy Brazier が M.I.T. の Electronics group と組んでやっている information theory の脳波 (E. E. G.) への応用であろう。Brazier は E. E. G. の Autocorrelation factor 及び cross-correlation factor を求めることによって signal と noise を選別すること, 及び photic activation を行ったときに, activation frequency と異なる E. E. G. wave が現れることの事情を究明し, なお cross correlation factor を用いて病理学上の興味ある効果を収めている。

最初の研究は計算で correlation factor が求められるが, 現在は magnetic type recorder を用いた delayed memory system で automatic に correlation factor がメーターに出て来る system が M. I. T. で develop されているのは音響工学の部に述べた通りである。

5. Mayo Clinic

M. I. T. と Mass General Hospital の co-operation も多くの成果をあげているが, アメリカの医学物理学の圧巻は Minnesota 州 Rochester にある Mayo Clinic であろう。Mayo Clinic は病院町として全米にその名が知られいよいよどこでも駄目になった病人が全米から訪れる患者のメッカである。町は 5 つか 6 つの病院と病院のためのホテル, 銀行, 土産物店から成立している。Mayo Clinic は研究所ではなく, 一種の財団法人で University of Minesota の大学院コースと関係づけられている。Science Building と称する建物があって, これが事実上の研究所になっている。地下室は engineering division で mechanical and electrical engineering staff と製図工, 工員, 及び工作室からなり, ここの地下工場は一寸した製造会社顔負けの設備をもっている。概してアメリカの研究所はどんな研究所でも main building の地下室が工作室 (工場) で非常に完備した設備をもっている。試作が大変簡単にできるのは羨しい。工場の外に 2 台の大型電磁オシログラフがあって, 20 channels 位迄の計測ができる。1 台は備付けで, この室から持出しができぬが, この室に来て記録をとるのでなく, 遠方の部屋での実験を有線ですべて遠隔記録をとるわけである。film の巾は 18"。もう一台の小型の方は film 巾 12" でこれはローラー付きで portable になっている。こういう記録装置は中央に必ず備えてあって各研究室が別々にもっていない。standard signal (10 cps-1000cps) もここから有線で各室に送られる。oscillator は中央の一つもっている。すなわち engineering division の種目は design and development, machine-shop, and instrument maintenance である。アメリカという development は日本語の「試作」に相当するのであろう。research & development で研究試作の意。science building はアメリカの typical な研究所の様式で, 一つのビルの各階に研究室があり, 連絡が便である。

Rochester の町のもう一つの特色は, 大きな建物と建

物の間が全部美しい地下道で結ばれていることで、これを sub-way と称する。初めは地下鉄の入口かと思っただけに非ず、文字通りの sub-way である。幅は4~5米位で、人が歩くだけ。美しく照明され、床はスペースで、手押車に便してある。このために雨でも雪でも傘なし、オーバーなしで、研究所一病院一銀行などに歩いて行ける。

Mayo Clinic には麻酔の脳波による自働制御で有名になった Dr. Bickford がいて、専ら筆者の世話をしてくれた。Dr. Bickford は英国人で、終戦後米国に渡った未だ若く 40 歳そこそこか 38 歳位であろう。夜は殆ど毎晩自宅へ夕食に呼んでくれ、二人の男の子とすっかり仲良しになった。Dr. Bickford は麻酔の自働制御の研究は現在やめ、この仕事は Dr. Fancolnes が引いている。筆者が清水教授との co-operates でやった麻酔の depth-meter はこゝで重要視されており、Science building での研究会で一回講演を頼まれた。アメリカの大学での正式の講義は、ここの他シカゴ大学で一回、California 大学で一回、合計 3 回となる。

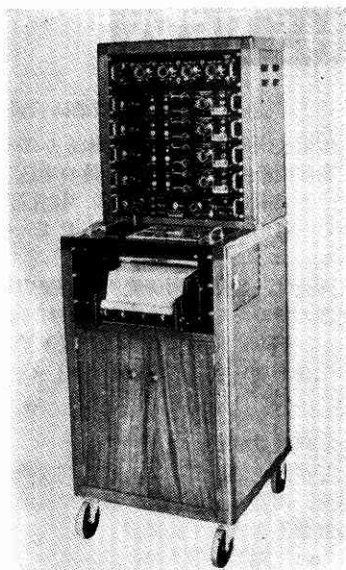
もしアメリカで Biophysics の研究をやることになったら、筆者は何等の躊躇なく Mayo-Clinic を選ぶ。アメリカ医学の最先端がここにある。但しこゝで働いている研究者は何分へんびな所だから (isolated location) といって、もっと便利な所に行きたがっている。最も近い大きな町はシカゴで、Chicago 迄 drive で 8 時間かかる。東京一名古屋間位か、もう少しある。isolated location だといって嘆くが、その便利さは西千葉の比ではないと思った。

6. 脳波その他の記録装置

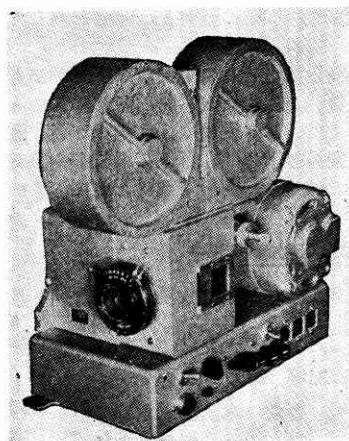
Biophysics の項の最後に、筆者の専門である脳波その他の recorder についての感想を記したい。最も普及している recorder は Sun-born Co., の熱ペン (Heated-stylus) 使用の recorder と、Grass Co, その他で出している或ブラウン管オシロ用 camera である。Sun-born Co. は Heated stylus の recorder を各種製作しているが、最も普及しているのはこの中 4-channel のもの、増巾器として dic-amplifier がついている。Ink-writer でないから特殊な paper を要し、多少不便であるが frequency response が比較的高いのと p. d. c-amp. がものをいって一応 standard の実験設備の一つになっている。第 5 図は 4-channel のセット。

ブラウン管用カメラは、一枚撮りもできるが film が一様な speed で走るのが一般向きで、もちろんブラウン

管上の spot は上下にだけふらせておく。かつて筆者が生産研究 (3 巻 6 号, 76 頁) に発表したものと principle は同じである。sweeping velocity がいろいろにかえられること、撮影中も波形を monitor できることなどが便利な点。もちろん現像操作を必要とするが、frequency が high frequency 迄とれるので、これも standard の実験設備の一つとなっている。なおブラウン管は通常の single beam の他



第 5 図 Sun-born Co. 製の熱ペン使用の 4-channel recorder



第 6 図 Grass Co. 製のブラウン管オシロ撮影用カメラ。一枚撮りもできる。

に dual beam, three-beams から最近は four-beams のもの迄できている。第 6 図は Grass Co. のオシロ用カメラ。第 7 図 (a), (b), (c) はオシロカメラの他の例を示す。

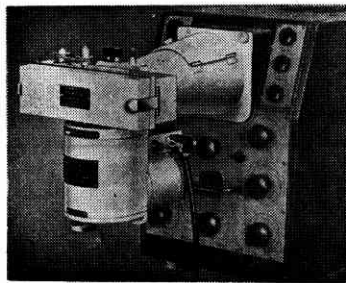
脳波記録装置については Grass Co, Medcraft Co. Offner Co, Gilson Co, を visit してそれぞれ Mr. & Mrs Grass, Mr.

Medow, Dr, Offner, Dr, Gilson に会った。特記すべきことも多いが紙数の都合でここには割愛した。

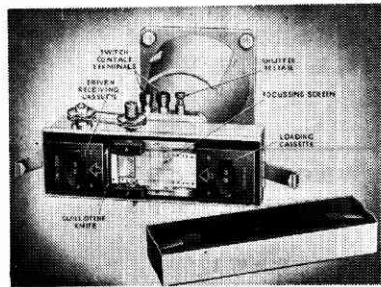
(1954. 3. 16)



(a) ブラウン管撮影用カメラを前方から見たところ



(b) 後方より見る



(c) その内部構造 Sweeping speed は次々にかえられる