



Title	X線の蛋白質に及ぼす影響(第3報)理論的考察
Author(s)	河村, 文夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1952, 12(6), p. 35-41
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15879
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X線の蛋白質に及ぼす影響（第3報） 理論的考察

(北海道大學醫學部放射線醫學教室主任 若林勝教授)

河 村 文 夫

(昭和27年4月12日受付)

1. 緒 言

生體の基質として生命現象と密接なる關係をもつ蛋白質が、放射線エネルギー吸收の結果として如何なる影響をうけるかは、放射線生物作用の機轉を考究するために重要な問題の一つである。之れに關して從來幾多の研究¹⁾が行われ、放射線照射による蛋白質溶液の安定性の減少、粘度の増加、紫外線吸收能の増加などが明かにされ、又その作用機轉に關しても多くの假説が提唱されている。

然しながら最近の蛋白質研究の成果²⁾より見ても、又量子化學乃至放射線化學の立場から考えても、報告されている如き變化のすべてが、放射線照射による蛋白質の一次的な變化とは考え難く、又その變化は化學的に如何なるものであるかは未だ明かにされていない状態である。

こゝに X線の蛋白質に對する作用を再検討する必要がある。余はこの意味で前報^{3), 4)}に報告せる如く大線量を照射した時の蛋白質の變化を物理化學的に検索した。

その結果を要約すれば、血清蛋白質において電氣泳動的³⁾に著明なる變化を來し、化學的⁴⁾には SH基、NH₄基、チロジン基の反應性の増加を來すことを證明した。更に之等の變化と加熱或は紫外線照射による變化を比較検討し、その間に明かななる相違のあることを確めたものである。

本編においては之等の結果について理論的検討を加えんとするものである。

先ず量子生物學の立場に立つて彈説⁵⁾が、蛋白質の如き物質にも擴張し適用しうるか否かを検討した。次に放射線エネルギーの吸收及びその結果と

しておこる蛋白質の一次的變化について考究し、更にこの結果より放射線生物作用機轉に關して一つの考え方を提案せんとするものである。

2. 的彈説適用の可否

1. 前提條件

放射線の生物體に對する影響を観察する實驗において、その結果に的彈説⁵⁾を適用するに當り前提條件となることは、その生物材料が純系であること及び放射線感受性を異にするものを含まぬことである。

余の蛋白質變性に關する實驗において先ず之等二つの前提について検討せん。實驗材料として用いた血清蛋白質は、實驗に際し精製し又時に結晶性のものとして使用した。かゝる試料においては最近の蛋白質研究の結果²⁾より見ても、生物體の如く純系であるとか感受性が個體によつて異なるとかの問題は無視することが出来る。

放射線生物作用における傷害曲線(殘存曲線)は生物學的變異によるものではなく放射線吸收の不連續性によつて説明せんとするものであるが、この區別は特別の場合を除いては一般に困難であるが蛋白質の如き物質²⁾を考える時は變異の問題は考慮外におきうる。

2. 一般式に於ける m=1

一般に多數の細胞が集り一つの個體を形成しこの中 m 個の細胞が傷害されて始めてその個體が傷害される場合その個體群の殘存曲線は次の如く表される。

$$y = \left\{ \frac{\Gamma x(n)}{\Gamma(n)} \right\}^m Z \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$c > 0, \quad x = \alpha q/m$$

$$\Gamma x(n) = \int_0^x e^{-x} x^{n-1} dx$$

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty e^{-x} x^{n-1} dx$$

y: 傷害されずに残った個體数

z : 最初にあつた個體數

q：線量

α : 單位線量によつて一つの有效な弾の
あたる確率

n：的彈數

個體が1個の細胞又は生活単位より成る場合即ち $m=1$ の場合には残存曲線は次の如くなる。

又は

$$y = Z \left(1 - e^{\alpha q} \{ 1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{n-1}}{(n-1)!} \} \right) \dots \quad \textcircled{2}'$$

となる

近時の蛋白質の物理化學的研究²⁾によれば、蛋白質は均一であり又分子量及び分子形態が均一であると云う

又蛋白分子は水溶液中でも一定の形を保つものと考えても、粘度、沈降速度、擴散等の實驗結果をよく説明出来、事實バイラス等でこの様に考えて求めた分子形態が直接電子顯微鏡で見られたものと一致すると云う。

即ち蛋白質は水溶液中では分子が個々に均一に且つ一定の形で存在すると考えられる

従つてかかる材料における残存曲線では、當然上式①の $m = 1$ の場合即ち②式が適用される。

3. 残存曲線の形

a) 電気泳動的變化と線量との関係

放射線が生物に作用して見られる變化と線量の關係について的彈説が適用されるためにはその變化が、例えば生と死の如く、判然としたものでなければならぬ。余の實驗³⁾(若林と共に)における電氣泳動圖上の變化と線量との關係が果して的彈説で云う殘存曲線と見なしうるか否かを検討せ

h

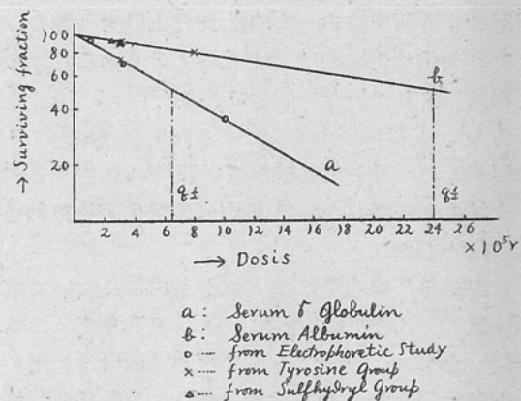
人血清はX線照射により、電気泳動的には γ グロブリン分屑の著しい減少と β 分屑部の著明なる増加を來すものである。

今このアグロプリン分層の減少について検討して見よう。電気泳動法⁸⁾においては泳動圖上の各峯はそれぞれ血清の各成分を表わし、その面積はその成分の濃度即ち分子數に比例することはこの方法の前提である。従つて電気泳動圖上においてアグロプリク分層の減少は即ちアグロプリン粒子がX線照射により電気泳動的に異つた粒子に變化しア分層より消失したものと考えることが出来る。即ちアグロプリン分層の變化と線量との關係は残存曲線と云いうる。

このマグロプリシ分層の減少の度と線量との関係を見るに、 10^5 r 照射例では対照例に比し 7%， $10^{5.5}$ r では 36%， 10^6 r では 65% の減少を見た。

今対照例を 100 とし、變化をうけないで残つた割合の對數を縦軸に、横軸に線量をとるとときは明かに直線關係が成立する。（第 1 圖）

Fig. 1



即ち變化をうけざる残存數と線量の關係は指數函數的曲線となる。このことは②式において $n = 1$ の場合であり次式の如く表される。

このことは1個の的弾が蛋白分子の的弾域に入ることにより該分子は電気泳動的に異つた粒子に

なると云うことである。

この間の関係を化學的變化を尺度とした實驗結果と比較して見よう。

b) 化學的變化⁴⁾と線量との關係

今血清アルブミンの變化と線量との關係を検討するに、血清アルブミンにおいては、未處理のものでは活性なチロジン基は全チロジン基の39%でX線 3×10^5 r 照射例では45%， 8×10^5 r 照射例では51%で、反應性のチロジン基は増加している。紫外線大量照射、加熱では殆んどすべてのチロジン基が活性化していることより、X線照射によつて變化した蛋白質分子はそのすべてのチロジン基を活性化すると假定する。そして一分子の全チロジン基が活性化することを以て傷害と考える。かく考えればこの變化と線量の關係は殘存曲線と云いうる。

然らば余の實驗よりは 3×10^5 r では10%， 8×10^5 r では20%の蛋白分子が作用をうけたことになる。

今血清アルブミンの變化をうけずに残つている分子の割合の對數を縦軸に、線量を横軸にとり殘存曲線を描けば、明かに直線關係が得られる(第1圖)。換言すれば血清アルブミンの變化をうけざる割合と線量との間には指數函數的關係が成立する。

即ちこの場合にも③式が適用される。従つて血清アルブミン分子は1個の的彈が的彈域に入ることによつてその分子中の全チロジン基を活性化すると云うことである。

次にSH基の變化と線量との關係を見よう。

血清アルブミンにおいてはX線大量照射により輕度ながらSH基の活性化を見る。紫外線大量照射によりすべてのSH基⁴⁹⁾が活性となつていることより、この場合にもX線の作用をうけた蛋白分子はその全SH基を活性化すると假定する。そして之を傷害と考えればこの變化と線量との關係は殘存曲線と云える。

實驗値より計算すれば 2.5×10^5 r では8%， 3×10^5 r では10%の蛋白分子が作用をうけたことになる。この變化をうけずに残つたものの割合と線量

との關係はチロジン基について求めた曲線とよく一致する(第1圖,b)。

即ちSH基の活性化を目標としても前同様③式が適用される。従つて蛋白分子は1個の的彈が的彈域に入ることによつてその分子中の全SH基が活性化する。

而して電氣泳動的變化³⁾と化學的變化⁴⁾とは無關係なものではない。

今アグロプリンにおいてその電氣泳動的變化とチロジン基の反應性の增加との關係について見るに、加熱、紫外線大量照射により殆んどすべてのチロジン基が反應となつていることより、電氣泳動的にγ分層より消失せる蛋白分子は變性し、そのすべてのチロジン基が活性となると假定する。電氣泳動的には 3.0×10^5 r 照射では28%のアグロプリンが變化している。之よりチロジン基の變化を見るに、未處理の生蛋白ですでに蛋白分子中のチロジン基の50%が活性であるから、X線 3.0×10^5 r 照射例では反應性のチロジン基は

$$\frac{50\% \times (100 - 28) + 100\% \times 28}{100} = 64\%$$

であるはずである。實驗値は65%で計算値の64%とよく一致する。

即ち電氣泳動的に變化した蛋白分子のすべてのチロジン基は活性となつているものと云うことが出来る。

以上のことより蛋白質の變化について、電氣泳動的變化を目標とするも、又チロジン基或はSH基の活性化を目安とするも之を線量との間には指數函數的關係が得られる。

即ちX線照射による蛋白質の變化はone hitで説明され、蛋白分子は1個の的彈が的彈域に入ることにより、電氣泳動的に變化し、且すべてのチロジン基、SH基は活性化する。

4. 的彈の吟味

D. E. Lea⁶⁾によれば、バイラス等に對する作用の單位となるものは電離であると云う。而して一つの電離塊中における相となれる電離の距離は數mμであるからこの場合の的彈としては、電離塊を考えるべきであると云う(P. Jordan)¹⁰⁾。

今血清アルブミンの分子の形は²⁾短軸半径14Å, 長軸半径75Åの細長い迴轉橢圓體をなすと云われる。従つて血清アルブミンの如き小體積中に電離塊中のすべての電離が入る確率は極めて小であると云わなければならない。故に蛋白質分子の如きものについては的彈としては個々の電離とするのが妥當であらう。

即ちこの場合的彈としては個々の電離を考え且つ個々の電離は全く獨立に分布するものと考えるべきである。

5. 的彈域の大きさ

以上論じたる所では蛋白質分子の的彈域に1個の電離が入ることによつて該蛋白分子は物理化學的に乃至化學的に變化をうけると云うことであつた。然らば的彈域は蛋白分子の全體であるか或はその分子の一部分であらうか、之を知るために実驗結果より的彈域の大きさを求め之と蛋白分子の大きさと比較すればよい。

余の實驗においては、前述の如く、one hitの場合に相當し、的彈としての電離は個々獨立に任意に分布すると考えられるが故に、D. E. Lea の第一法⁶⁾(J. A. Crowther)⁷⁾によつて的彈域の大きさを求めることが出来る。

今③式においてyが $1/2z$ になるような線量即ち残存數を最初の數の半分にするに要する線量($q^{1/2}$)を求めるときれより α を算出することが出来る。

$$\alpha = \frac{0.693}{q^{1/2}}$$

α は単位線量によつてVなる體積の的彈域に的彈が當る確率であるから、Nを単位線量で單位體積中に生ずる電離の數とすれば、的彈域の大きさVは次の如くなる。

$$V = \frac{\alpha}{N} \quad \text{又は} \quad V = \frac{0.693}{q^{1/2} \times N}$$

余の實驗條件(平均波長0.3ÅのX線)から1rで水1g中に生ずる電離の數Nは 1.6×10^{12} 個となる。

$q^{1/2}$ は第1圖より血清アグロブリンでは、 $6.5 \times 10^5 r$ 、血清アルブミンでは $2.4 \times 10^6 r$ であるから、之等の値より夫々の的彈域の體積 V_r 、 $Valb$ を求めるとき次の如くなる。

$$V_r = \frac{0.693}{6.5 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{12}} \text{ cm}^3 = 6.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^3$$

$$Valb = \frac{0.693}{2.4 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{12}} \text{ cm}^3 = 1.8 \times 10^{-19} \text{ cm}^3$$

以上の計算は蛋白質が水中にあることを考慮外においた場合である。

近時放射線化學⁶⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾が擡頭するに及び稀薄溶液に對する放射線の作用機序が論議されるに到つた。之れによれば稀薄溶液においては溶質に對する「直接作用」と共に、溶媒に吸收された放射線エネルギーの溶質への移行或は溶媒におこつた化學變化が溶質に作用する間接作用があると云う。

放射線化學で云う間接作用においてはその收量と線量との間には直線關係があるが、又指數函數的關係の場合もあり得る⁶⁾⁽²¹⁾。

余の場合の實驗結果は指數函數的關係が得られているが、この場合間接作用による效果も加わつてゐると考えられる²¹⁾。従つて上述の計算によつて求めた的彈域は直接作用のみを考慮したものであるからこの補正を行わねばならない。

間接作用の寄與は次の如く定義されている。

$$\frac{\text{直接作用のみ考える場合に要する線量}}{\text{溶液中において實際に要する線量}} = 1 + \frac{r}{\Gamma} \left(\frac{\text{溶媒濃度}}{\text{溶質濃度}} \right)$$

こゝに r/Γ は間接作用と直接作用のイオン收量の比を表わすものである。

蛋白質においては Ribonuclease では 0.03⁶⁾、 Specific protein (Dale) では 0.02 以下である⁶⁾。血清蛋白質においては、余の馬血清アルブミンについての實驗より求めた r/Γ の値は 0.01 である²¹⁾。

而して余の實驗における血清アグロブリン、血清アルブミンの濃度³⁾⁽⁴⁾は何れもほゞ 1% であり、今之等蛋白質の r/Γ の値を 1/100 又は 2/100 とすれば間接作用の寄與は直接作用 1 に對して、1/100 (1/0.01) = 1 又は 2/100 (1/0.01) = 2 となる。

即ち直接作用 1 に對して間接作用は 1 乃至 2 の値を示している。このことは實驗より求められた的彈域の大きさより、直接作用のみの的彈域即ち眞の的彈域の大きさを求めるためには、この値の $1/2$ 或は $1/3$ の値とすればよいことになる。

この補正を行えばアグロブリンの的彈域は、3.3 ~ $2.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^3$ 、血清アルブミンの的彈域は 9 ~

$6 \times 10^{-20} \text{cm}^3$ となる。この的彈域の大きさが余の実験結果から得た真の大きさと云うことになる。

6. 的彈域と蛋白分子の関係

余の実験結果から計算して得られた之等的彈域の大きさと血清γグロブリン及びアルブミン分子の大きさとの関係を検討せん。

之等の蛋白質においては他の物理化學的方法で求められた分子の形²³⁾は細長い廻轉橢圓體をなすと云われる。γグロブリンでは長軸aが264Å、短軸bが37Åであり、血清アルブミンは a=150Å、b=28Å、である。

各分子の體積は $V = \frac{4}{3}\pi(\frac{a}{2})(\frac{b}{2})^2$ であるから、γグロブリンでは $1.9 \times 10^{-19} \text{cm}^3$ 、血清アルブミンでは $6.1 \times 10^{-20} \text{cm}^3$ となる。

然るに蛋白質は水溶液中で一定量の水を結合水としてもつていると云われる¹⁴⁾。この水分子は水素結合によつて多層吸着の形²⁴⁾で蛋白分子に結合し¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、蛋白分子の構造の一部をなすと云う。今この點を考慮に入れ、水溶液中では蛋白分子が一層の水分子層をもつものとすれば、水分子層の厚さは 4Å であるから従つて

$$V = \frac{4}{3}\pi(\frac{a+2 \times 4 \text{Å}}{2})(\frac{b+2 \times 4 \text{Å}}{2})^2$$

によつて補正すれば血清アルブミンでは、 $V_{\text{alb}} = 1.1 \times 10^{-19} \text{cm}^3$ 、γグロブリンでは $V_r = 2.4 \times 10^{-19} \text{cm}^3$ となる。

X線回析の結果²²⁾より求められた蛋白質の大きさは、馬血清アルブミンでは乾燥状態では $6.0 \times 10^{-20} \text{cm}^3$ 、濕つた状態では $11.7 \times 10^{-20} \text{cm}^3$ であると云う、この値と上述の結合水を考えた値はよく一致する。

そこでこの蛋白分子の大きさと的彈域の大きさ

第1表

蛋白質	分子の大きさ ($\times 10^{-20} \text{cm}^3$)		的彈域の大きさ ($\times 10^{-20} \text{cm}^3$)	
	結合水をもたぬとき	一層の結合水を含めて	$r = \frac{1}{T}$	$r = \frac{2}{T}$
血清γグロブリン(著者)	19	24	33	22
血清アルブミン(著者)	6	10	9	6
Ribonuclease (D.E.Lea)	1.4	2.9	2.2 (乾燥状態において)	

を比較すると第1表の如くなる。

即ち實驗より求められた補正した的彈域の大きさは夫々蛋白分子の大きさとよく一致している。

この結果は D.E. Lea⁶⁾が Ribonuclease の不活性化の實驗において、余の實驗と同じく指數函數的關係を得、一分子當り一つの電離によつて破壊され、そのイオン收量はほゞ 1 であるとの結果ともよく一致する。

とにかくこの結果より蛋白質においては、分子全體が的彈となり、その中に 1 個でも電離が生ずることにより、その分子が變化することをうかがうことが出来る。

3. 理論的考察

以上より量子生物學の基礎に立つ的彈説が蛋白質の如き化學物質にも擴張しうること、而してその際蛋白分子全體が的彈域となることを明かにした。的彈説の教示するところのものは分子の何れかの部分に、1 個の電離のエネルギーが與えられるときは觀察せる如き變化を起すと云うことである。即ちその電氣泳動的性質は變化し、化學的には分子内のすべてのチロジン基、SH 基は活性化し、遊離の NH₄ 基は増加すると云うことである。

然らばかくの如く化學的乃至分子構造的に變化を來すことは如何なる機序によるものであらうか。即ち吸收されたエネルギーが如何なる機序によつてかゝる變化を來すかを考察して見よう。

先ず X 線照射による變化を加熱による變化と比較するに⁴⁾、加熱變性においてはチロジン基の活性化を來すが、X 線、紫外線照射に見る如き、SH 基の遊離、NH₄ 基の增加或は紫外線吸收能の増加は認められない。

X 線は加熱即ち分子運動エネルギー増加によつておこしうる變化は勿論更に之によつてはおこし得ないより高いエネルギー準位の變化もおこしうるものである。

更に X 線による變化と紫外線による變化を比較するに、核蛋白においては X 線は紫外線にてはおこし得ない高エネルギーの結合の切斷をおこすと云う¹²⁾¹⁷⁾。又血清蛋白質においてもその電氣泳動的變化³⁾は兩者一致しない。これより見ても X 線は紫

外線に比しより高エネルギーの變化をもおこし得ることが考えられる。

之をエネルギー論的に考察すれば、蛋白質分子内に1個でもイオン対の結合があれば、その數百Kcal/molに及ぶ大なるエネルギーが分子内に遊離される。このエネルギーは分子の熱運動エネルギーの増加、紫外線吸收によりおこりうる光化學反応は勿論更に高エネルギーの變化をおこすに充分なる量である。而してこのエネルギーがひろく分子全體にわたり與えられることによつて、廣義の種々なる光化學反応を起し、その結果その分子は全く變性するものと考えられる。

何故ならば蛋白質分子にエネルギー吸收があれば、その分子全體に亘る化學的乃至分子構造上の變化をおこすことは、分子内的一部分に吸收されたエネルギーが分子全體に及ぶと考えなければ説明出来ないからである。

然ばば蛋白分子内或は密なる結合にある分子間²⁰⁾には、充分なるエネルギー移動が容易に行われ得る可能性があるであらうか。

種々の有機化合物においては一たとえば分子のKetonにおいてCarbonyl基に吸收された光量子が、その吸收された部分ではなく、carbon-Carbon結合を切斷すると云う¹¹⁾—エネルギー吸收があれば分子内エネルギー移動によつて、分子内の特定の結合を破壊すると云う¹²⁾。又アミノ酸においても、その脱アミノ基にも同様のことが認められると云う¹³⁾。

又蛋白質の如き巨大分子においても同様のことが考え得る幾つかの事實がある。

Bücher¹⁸⁾等は30,000の分子量の蛋白質に作用基としてミオグロビンを結合させた呼吸酵素のFeにCOを結合させ、ヘミンに吸收される光で照射すれば量子收量1でCOの解離がおこり、又ヘミンに吸收されず蛋白質によつて吸收される短波長の光で照射しても同じく量子收量1でCOが解離する。即ち蛋白質分子内的一部分に吸收された量子エネルギーが短い勵起時間の間にヘミンまで移動しうると云うことである。

同様のことがクロロフィル溶液において、エネ

ルギーの分子間移動がきはめて短い、勵起時間の中に多くの分子をへて行われると云われている。又このエネルギー移動の型式についても色々論ぜられている¹⁹⁾。

之等の事實から蛋白分子のどこかにエネルギーが遊離されるときは之が分子全體に擴がると考えることは許されるであらう。

このエネルギーの全分子えの波及によつて分子内の弱い乃至特定の結合は切斷される。これによつて化學的變化は勿論構造上にも變化を來すものである。これが放射線による蛋白質變性の機序である。

然ばば余のこの理論によつて放射線生物學的作用は如何に解明せられるであらうか。

細胞の所謂的彈域乃至感受帶の一部に的彈が入るときは、その的彈より遊離された大なるエネルギーは、水素結合などの強い分子間連結²⁰⁾を経て量子彷徨或は分子間勵起エネルギー移動などの形でエネルギー移動を行い、的彈域の酵素系、核物質或は蛋白質などより成る生命乃至生活現象に重要な構造にひろくひろがり、種々なる結合或は構造に活性化エネルギーを與え之を破壊し、直接に、或はその破壊產物により間接に、觀察される如き重大なる生物作用を呈するものであると解される。

今細胞における的彈を一次電子とすれば、その的彈のもつ量子エネルギーは數千乃至數萬電子ボルトに及び、紫外線量子程度の活性化エネルギーの強い結合でさえ $10^3 \sim 10^4$ 個を切斷し得るもので、エネルギー的に考えても充分可能である。

即ち感受帶乃至的彈域に確率的に吸收された量子エネルギーの移動の可能性及びそのエネルギーによる生活物質における化學構造の破壊を考えることによつて放射線生物作用機轉を説明することが出来る。

4. 結 論

余の實驗結果を理論的に検討し次の結果を得た。

1. 的彈説はX線照射による蛋白質の變化に對し適用することが出来る。

2. これによれば one hit ($m=1$, $n=1$) の場合に相當する。
3. 的彈域の大きさは蛋白質の吸着水を考慮に入れ、又間接作用を考え補正すれば蛋白分子の大きさとよく一致する。
4. X線による蛋白質の變性は分子の一部に吸収された電離のエネルギーが分子全體に擴がり、分子内の特定の或は弱い結合を破壊することによつて化學的並に分子構造上に變化を來す。
5. この理論によつて放射線生物學的作用の機序の解明を試みた。

文 獻

- 1) B. M. Duggar: "Biological Effects of Radiation" New York, (1936), 303. —2) 水島, 島内: 蛋白質の構造, (昭和24年), 學術圖書。—3) 著林, 河村: 日醫放誌, 11卷9號, (昭和27年)。—4) 河村: 日醫放誌, 11卷10號, (昭和27年)。—5) M. Blau &

- K. Altenburger: Zeits. Physik. **12**, (1923), 315.
 —6) D.E. Lea: "Action of Radiations on Living Cells" Cambridge University. (1947). —7) J. A. Crowther: Proc. Roy. Soc. B. **100**, (1926), 390.
 —8) 平井, 島尾: 生化學, **21**, (1949), 54, 109.—9) H. Neurath etc: Chem. Rev. **34**, (1944), 157.
 —10) P. Jordan: Physik. Zeits. **39**, (1938), 315.
 —11) F. G. Spear: Brit. J. Radiol. Supp. NO.1, (1947). —12) C. B. Allsopp: Brit. J. Radiol. **24**, (1951), 413-435. —13) L. Pauling: A. J. C. S. **67**, (1945), 555. —14) B. Bull: A. J. C. S. **66**, (1944), 1499. —15) O. L. Sponsler: J. Phys. Chem. **44**, (1940) 996. —16) S. Brunauer, etc: A. J. C. S. **60**, (1938), 309. —17) 江上編: 核酸及び核蛋白質, (昭和26年), 共立出版, 262. —18) T. Bücher etc: Biochem. & Biophys. Acta. **1**, (1947), 21. —19) 藤井: 化學の領域, **4**, (1950), 451. —20) 廣田, 河村: Monograph Series of the Research Institute of Applied Electricity, NO. 2, (1951), 11. —21) 河村: 未發表。—22) I. Fankuchen: Advances in Protein Chemistry II (1945), 387.

On the Effect of X-ray on the Proteins. 3. Theoretical Study.

by Fumio Kawamura. from The Department of radiology,

Faculty of Medicine, Hokkaido University. Sapporo Japan.

(Director: Prof. Masaru Wakabayashi)

After examining the results of my experiments reported in the previous papers theoretically the following conclusions have been obtained.

1. The hit theory is applicable to the protein solution and it falls under the case of one hit.

2. The volume of the target area is, if corrected taking the bound water of protein and so called indirect effect in radiation chemistry into consideration, equivalent to the volume of protein molecule.

3. The denaturation of protein by X-ray Radiation is as follows.

When the energy of a part of the protein molecule, it spreads all over the molecule and cuts any or particular bond of the molecule resulting in chemical or structural change of the molecule.

4. An attempt was made to describe the mechanism of radiation biological effect on the basis of this theory of transfer of energy.