OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	X線貧血に於ける強度時間相關に關する實驗的研究
Author(s)	前田, 盛正
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1953, 13(3), p. 152-172
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15284
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X線貧血に於ける强度時間相關に關する實驗的研究

京都府立醫科大學放射線科教室(主任 後藤教授)
醫學士 前田盛正

(本論文を長女妙子の靈に捧ぐ)

(昭和28年2月17日受付)

目次

緒言
第1篇 Schwarzschild 法則の適用範圍 5～250r/day のX線强度について
第1章 實驗方法
第2章 實驗結果
第3章 總括並びに考案
第1節 赤・白血球の減少曲線について
第2節 X線强度と放射日數との相關及び Schwarzschild の p について
第3節 總X線量と放射日數との相關について
第4節 生體内に於けるX線エネルギーの減衰と障碍度に對する考察
第4章 結論
第2篇 Schwarzschild 法則の適用範圍外 3, 2, 1r/day のX線强度について
第1章 實驗方法
第2章 實驗結果
第3章 總括並びに考案
第4章 結論
第3篇 Schwarzschild 法則の適用範圍外 1r/min 及び 5r/min のX線强度について
第1章 實驗方法
第2章 實驗結果
第3章 總括並びに考案
第1節 半減放射量の極小値の存在について
第2節 大なるX線强度に於ける實驗方法について
第4章 結論
第4篇 全篇の總括考案並びに結論
第1節 實驗方法について
第2節 血球減少曲線について
第3節 Schwarzschild の法則について
第4節 Kron の懸垂線方程式について
第5節 全篇の結論
主要文獻

緒言

1) 1895年 W. C. Röntgen がX線を發見し, 1898年 Curie 夫妻がラヂウムを發見して以來, 放射線に關する半世紀間の進歩と普及は眞に目覺ましいものがあるが, 又その蔭には放射線による幾多の犧牲者が生じている.

近時X線の社會的應用が益々盛んになり, 又人工放射性元素の使用も漸次一般に普及されつゝある今日, 放射線による障碍は稍々その數を增す恐れが大である.

而してこれら職業性慢性障碍の他に, 原子爆彈の如き瞬時の强烈なる放射線を蒙つた場合には急性の放射線障碍が起る.

斯くの如き現代の趨勢を思うとき, 放射線障碍についての研究は緊急且つ重要なものと考える.

恩師後藤教授は多年職業性慢性X線障碍に注目せられ, 昭和25年第9回日本醫學放射線學會總會に宿題報告としてその研究成果を發表された. 私もその研究の一端として慢性X線障碍と結核[1]及び貧血[2]との關係について實驗したが, 本研究はその繼續的な研究である.

慢性放射線障碍は1日の中に蒙むるX線量が或數量以下であれば何年つゞいても障碍が起らないと考えられている. これを耐容量といい, その量は Mutscheller によれば1カ月に$^1/_{100}$ H.E.D,(約600r), 卽ち1日約0.2r とされていた. これは近時更に1週間0.3r と訂正されている. この様な微量のX線量についての實驗的研究は不可能と思われるが, 私の當初の研究目標は實驗動物のX線貧血によつて耐容量を批判することにあつた. その爲先ず, 1日1, 2, 3, 5r という微量のX線を連日放射し, 貧血の發現を待つたのである

が，3r 以下では容易に貧血が起らず，止むを得ず1日量のより大量なる部分についての研究に轉じ，耐容量の問題については，その結果より推論した．

2) 抑々放射線による慢性障碍の主なるものは，造血臟器の破壞による血球減少，皮膚障碍による潰瘍及びこれを素地として發生する皮膚癌，及び生殖細胞に於ける遺傳因子の變化等である．この中個體を死に到らしめる危險のあるものは再生不能性貧血及び癌の二者であるが，癌の發生は放射線取扱法の不適當な過去に多く見られ，近時は障碍に對する注意の喚起と豫防法の進歩によつて著しく減少しつゝある．これに反し，放射線による血球減少は，職業的に長期間放射線に接する場合，長期間の微量X線，放射性元素の體内外よりの放射等の作用によつて，徐々に造血臟器が破壞されることによつて發生するが，この様な型の放射線障碍が今後益々多くなるものと思われる．

又原子爆彈放射能症はγ線及び中性子による體内諸臟器の障碍によるものであるが，又この際著明なる血球減少を來たす．

卽ち放射線障碍に於て，その慢性たると急性たるとを問わず，血球減少はその主要症狀である．

偖て，放射線による血球變化についての研究には，放射線の種類及び投與法，各血球の數及び形態の推移，又は血球減少の發生機轉，又更に血球減少の豫防及び治療等幾多の研究分野が存在するが，私はこゝに赤・白血球，主として赤血球の數について，各種のX線强度により同程度の貧血を生ぜしめるに要する投與期間を求めた．卽ちX線の貧血作用に於ける各種X線强度の効率を求めたのである．

3) 光化學反應に於ては通常黑化度は露光量(照度×照射時間)で定まるもので，これを Bunsen-Roscoe の法則という．

$It = \text{const}$(I：照度，t：照射時間)

然し乍ら，より微弱な照度に對してはあてはまらず，これには Schwarzschild の法則が適用される．

$It^p = \text{const.}$

p は Schwarzschild の指數といわれ，通常1より小なる常數である．この際の微弱な照度に對しては Bunsen-Roscoe の法則より計算されるtよりも長い照射時間をかけなければ同一黑化度には達しない．

X線生物學的にもこの傾向が存在する．卽ち或線量を分割すればする程全體の作用は減弱する．これは投與期間が長くなればその間に恢復作用が働くためである．

この關係についての研究は時間因子 Zeit-faktor の研究といわれ，古來幾多の業績があり，その一覽表が A. Liechti[3]及び R. Bauer[4]の論文に揭載されている．

X線又はラヂウムによる時間因子の研究に於てその研究材料は蛔蟲卵・猩々蠅卵・豆等の簡單な生物と，動物の睾丸・人體皮膚等の複雜な器官とに大別し得る．

こゝにそれらの個々について紹介する事は避けるが，これ等の報告中には，殊に初期のものには，Liechti の表に見られる如くX線强度(單位時間に於けるX線量)を基準とせず，單に放射せる時間の比を以て論じているものが多い．これは次第に，Holthusen[5]の人體皮膚についての研究や，Sivert 及び Forssberg[6] の猩々蠅に關する研究等の如く，X線强度を基準とした研究に變つて來ているがこれは時間因子研究の至當なる進歩の道程である．

又寫眞測光學に於ては，廣範圍の强度に亙つて論する場合には p の値は常數でなく次第に變化するものであるが，(この爲かゝる廣範圍な强度に對する法則として Kron の懸垂線方程式[7]なるものがある)．從來のX線生物學的研究は單に $p \gtreqless 1$ を示すに止まるか，又 p の値を求めているものも2～3點の時間比に於ける實驗より結論しているものであつて，廣範圍の强度に對する p の値を求めているものは見當たらない．

4) X線貧血に關する研究は數少く，X線貧血に關し廣汎なX線强度について時間因子を研究した報告は寡聞にして聞かない．

本研究は耐容量の問題にも程遠く，又短期强放

射の極みである原子爆彈放射能症の領域にも至り得なかつたが，それ等の中間のX線强度について，X線障碍の主要症狀である貧血を對象として，X線强度の効率を連續的，法則的に論じたものである．これによつて時間因子という概念を一層明確に整理した積りである．

私はX線の時間因子を血球數について實驗したのであるが，その他の多くの對象に對して同樣な研究が行われゝば，頗る興味ある視界の開けることゝ信ずる．

第1篇 Schwarzschild 法則の適用範圍
5～250r/day のX線强度について

X線强度，放射時間及び血球減少度の相關は，後述の如くX線强度の凡ゆる範圍に Schwarzschild の法則が成立するものではない．實驗によつて，5～250r/day の强度のものがこの法則の適用範圍と考えられる．先すこの範圍について述べる．

第1章 實驗方法

X線强度，放射日數及び血球減少度の三者の相關々係を見ようとするとき，實驗方法としては何れか一つの因子を一定にして置く必要がある．そして他の二つの變數についてその相關を檢討するわけである．X線による血球減少は從來の文獻によつてもX線量の一次函數でないことは明かである．故に血球減少度を變數とすると，相關式を導びくには甚だ面倒なこととなる．

血球減少度を一定にし，X線强度と放射日數との相關を求めることが，實驗式を得るのに最も容易な方法である．

而して，私の目的は强弱各X線强度の効率を見ようとするのであるから，X線强度を變數とし，血球減少度を一定にした場合の放射日數を求める實驗となる．

卽ち海猿に連日各種X線强度で全身放射し，その赤血球數を半減せしめるに要する放射日數を求めたのである．

白血球の減少については，赤血球と共に計算されたのみで，特にその減少度について上述の如き目標を以つての研究はわ行なかつた．

動物：白色又は有色雜種海猿，體重400ｇ以上，飼育は屋內で，日光の直射は受けない．飼料は米糠及び野菜．

放射群：5，10，18，20，50，250，350r/dayの7群である．この1日のX線量を本篇ではX線强度として論じ，放射條件中の分間X線量(r/min)は複雜を避ける爲にX線强度と呼ばないことにする．

放射條件：島津製博愛號．120KVP 3mA，濾過板0.3Cu. 0.5Al. 焦點動物間距離1米．1r/min.を基準とし，日曜祭日を休まず每日連續放射した．

なお詳細は夫々の圖に附記した．

放射日數：夫々のX線量を每日全身放射し，末梢血中の赤血中の赤血球數が半減する如く放射日數を調節した．以下用いる言葉として，實放射日數とはその個體に實際放射した日數であり，半減放射日數とは，實驗の結果又は實驗の結果と圖表上よりの算出によつて，その個體の赤血球數が半減すると考えられる放射日數である．

血球算定：赤・白血球數を適時 Thoma 氏血球計算板にて算定した．白血球組成血色素量．等は調査しなかつた．

尙放射終了後1カ月間飼育を續け，血球の恢復狀態を調べた．

第2章 實驗結果

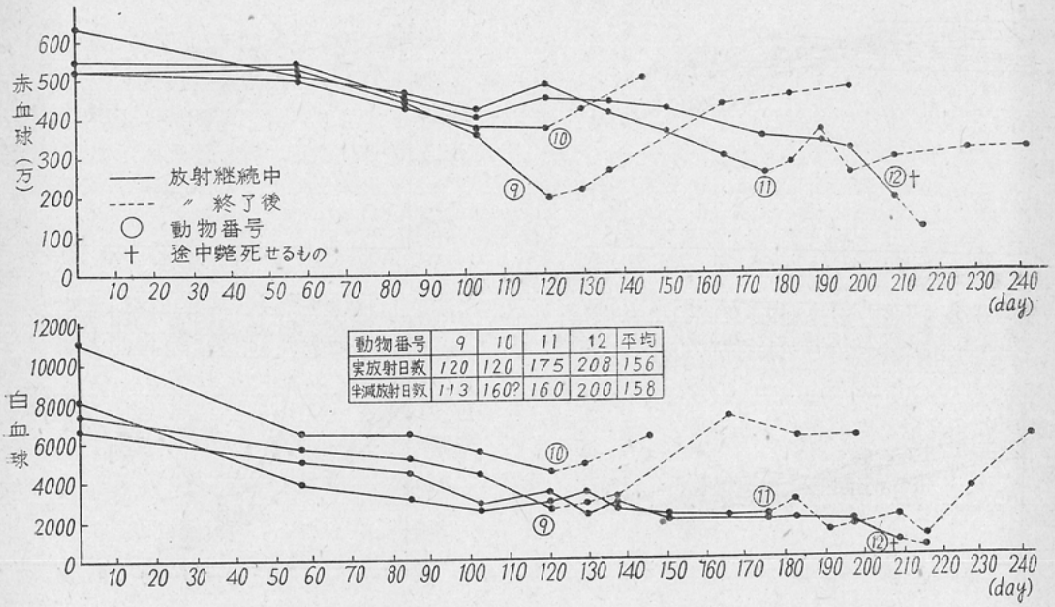
第1節 5r/day 群(第1・2圖)

本群は2回に亙つて實驗した．第1回は先す總量600r に至る迄(120日)放射し，赤血球數減少度の少い(11)(12)の2例だけ更に放射を續けた．半減放射日數の平均を求めると158日となる．第2回實驗は全例赤血球數の半減を目指して放射を繼續，同樣に算出される半減放射日數の平均は176日となり，兩回の平均半減放射日數は171日となる．又放射終了後1カ月間生存せる(9)(10)(11)(30)の各例を見るに，赤・白血球共にその恢復は後記の短期間放射群に比し著しく遲れている．

第2節 10r/day 群(第3圖)

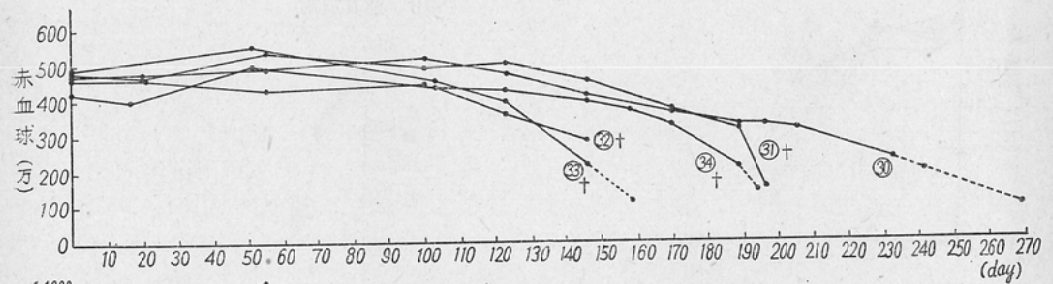
本群は先きに報告せる「慢性X線障碍による貧血に對する葉酸の效果」[2]という研究中の對象群を引

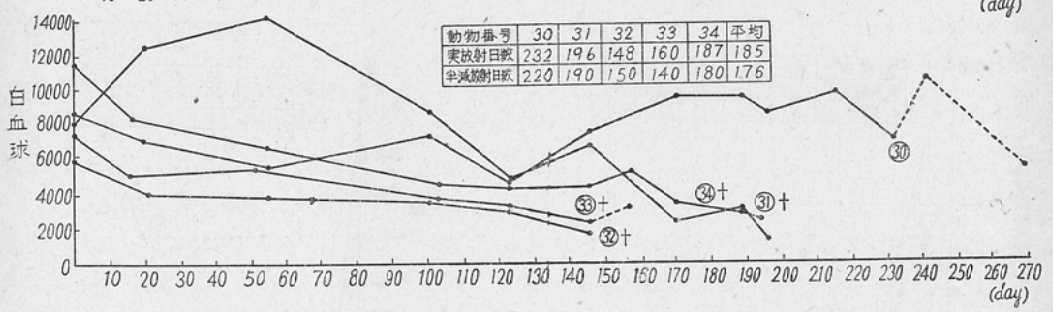
第1圖　5r/day 群　第1回　120KVP. 3mA. フィルター0.3Cu. 0.5Al.
距離110cm. 1r/min. 放射時間5分　連日放射



動物番号	9	10	11	12	平均
実放射日数	120	120	175	208	156
半減放射日数	113	160?	160	200	158

第2圖　5r/day 群　第2回　120KVP. 3mA　フィルター0.3Cu. 0.5Al.
距離109cm. 1r/min　放射時間5分　連日放射

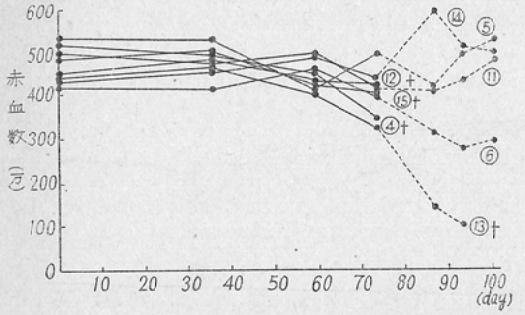




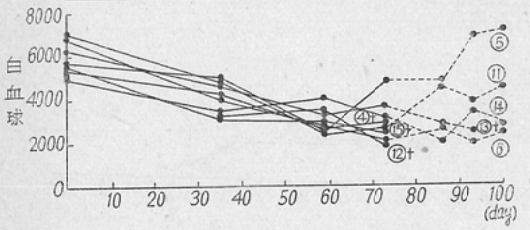
動物番号	30	31	32	33	34	平均
実放射日数	232	196	148	160	187	185
半減放射日数	220	190	150	140	180	176

用したものであつて10r/day 60回總量600rを放射しているが，赤血球數を半減せしめるにはなおやゝ線量不足し，半減放射日數の平均は約70日と算出される．この値は更に，私の研究，長期微量X線浴後の海猿に對する結核感染實驗[1]によつても裏書きされる．卽ち10r/day のX線强度では平均70

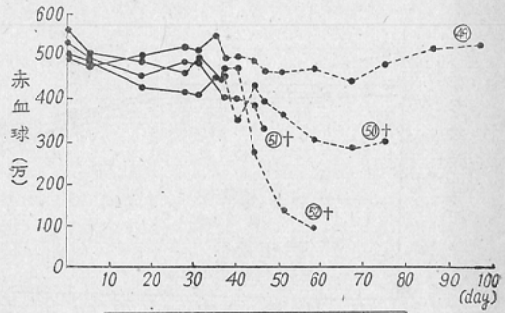
第3圖 10r/day 群 140KVP. 3mA. フィルター 0.3Cu. 0.5Al. 距離100cm. 1.7r/min. 6分 連日放射（日曜祭日を休む）73日間に60回



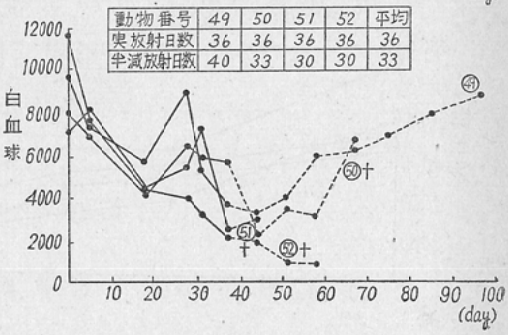
動物番号	4	5	6	11	12	13	14	15	平均
実放射日数	60	60	60	60	60	60	60	60	60
半減放射日数	60	80?	60	80?	70?	55	80?	70?	70



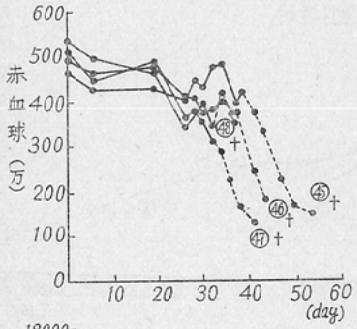
第4圖 18r/day 群 120KVP. 3mA 0.3Cu. 0.5Al 距離54cm. 4r/min. 4.5分 連日放射



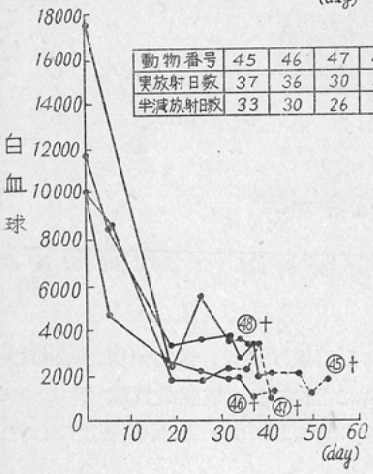
動物番号	49	50	51	52	平均
実放射日数	36	36	36	36	36
半減放射日数	40	33	30	30	33



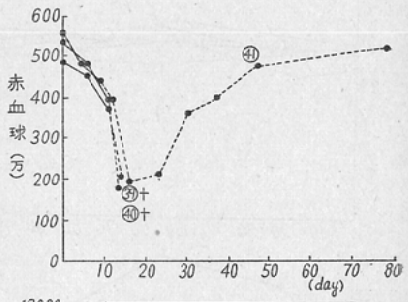
第5圖 20r/day 群 120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al 109cm. 1r/min. 20分 連日放射



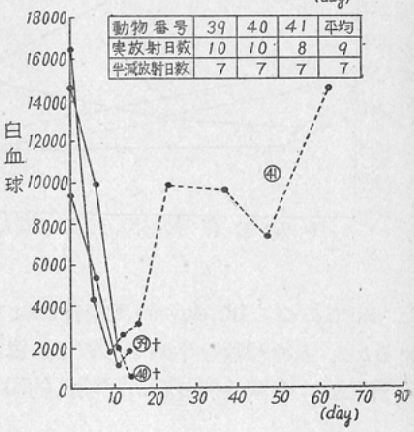
動物番号	45	46	47	48	平均
実放射日数	37	36	30	30	33
半減放射日数	33	30	26	23	28



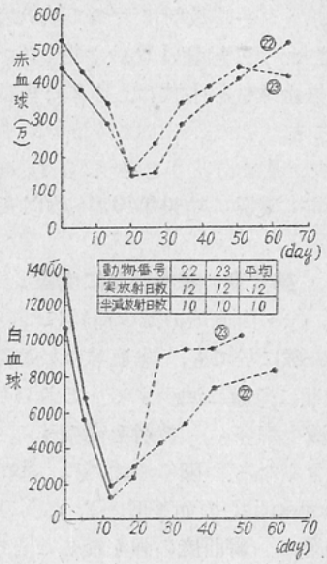
第6圖 50r/day 群 120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al. 105cm. 1r/min. 50分 連日放射



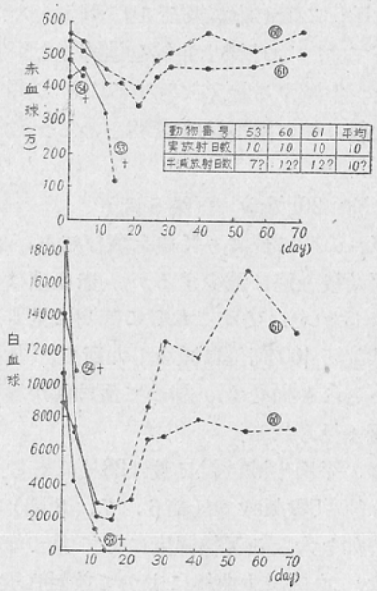
動物番号	39	40	41	平均
実放射日数	10	10	8	9
半減放射日数	7	7	7	7



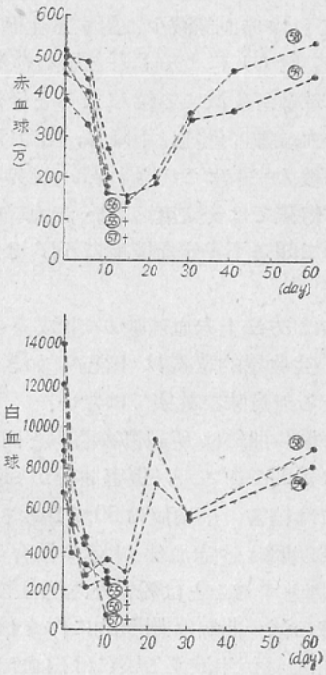
第7圖　50r/day 群　第2回 120KVP. 3 mA. 0.3Cu. 0.5Al. 70cm. 2.4r/min. 21分　連日放射



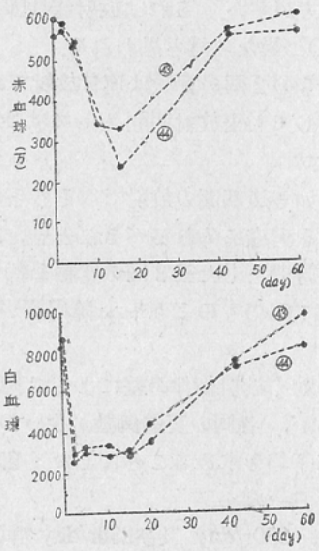
第8圖　50r/day 群　第3回 120KVP. 3 mA. 0.3 Cu. 0.5Al. 116cm. 1 r/min. 放射時間 50分　放射間隔24～29時間　全放射期間240時間



第9圖　350r/day 群　120KVP. 3 mA. 0.3Cu. 0.5Al. 116cm. 1 r/min. 50分　4時間置き 7 回　全放射期間　24時間



第10圖　250r/day 群120KVP. 3 mA. 0.3Cu. 0.5 Al. 116cm. 1 r/min. 80r-(12時間) -50r (5.5時間) -40r-(4.5時間)-40r- (2.5時間)—40r 全放射期間 24時間



日の放射を以て赤血球數は半減する.

第3節 18r/day 群(第4圖)

本群では圖に示す如く平均33日と算出される.

實驗遂行に際し本群及びこれ以上大なるX線强度に於ては, 血球減少曲線を追跡しながら丁度赤血球數が半減する量を放射することは非常に困難で, 放射日數の過不足は著明となるが致し方がない.

第4節 20r/day 群(第5圖)

いづれの群に於てもX線を蒙むると, 白血球は放射開始後急速に減少するが, 赤血球は始め容易に減少しない. 又殊に本群に著明に見られる如く赤血球數が400萬位に減少した所で, 放射を繼續しているにも拘らず, 却つて血球數が增加することが屢〻見られる.

本群の平均半減放射日數は28日である.

第5節 50r/day 群(第6, 7, 8圖)

本群の如き大なるX線强度にして且つ短期間の放射では, 血球減少曲線によつて放射日數を調節することは全く不可能で, 最初から放射日數を規定して行つた.

第1(第6圖)及び第2回(第7圖)の實驗を見るに, 略〻同程度の障碍を示しているのに放射日數は後者の方が多い. これは放射條件卽ち分間X線量(r/min)が異なる爲と思われる.

又これらの2回の實驗は連日放射であるから10日間放射しても全放射期間としては240時間とはならない.

本群の如き短期間の放射ではそろそろ全放射期間のことを考慮に入れるべきだと思い, 全放射期間を240時間とした第3回の實驗を行つた. その結果は第1回のものよりやゝ障碍度が少い樣に思われる.

斯くの如く放射條件の差によつて障碍度が異る樣であるが, 各回の實驗例數が少いのでこゝでは總括して平均を求めることにした. 卽ち3回の平均は約9日となる.

第6節 350r/day 及び250r/day 群(第9•10圖)

1日卽ち24時間の放射により赤血球數を半減せしめるには如何程のX線量を放射すればよいか. 當時5, 10, 50r/day 群の中間的な實驗結果より略〻350r と推定し實驗を行つたが, 第9圖の如く過大であつた. 一時放射によつて被放射海獏の半數を死亡させるX線量(LD_{50})は約310r と言われている. 赤血球數を半減せしめることは動物を瀕死の狀態にもたらすことではあるが, 尙 LD_{50} よりはやゝ少い量であろうと考えられる. 依つて250r と推定し實驗の結果第10圖の如く所期の目的を達した.

第3章 總括並びに考案

第1節 赤•白血球の減少曲線について

いづれの群に於ても, 赤血球は始め容易に減少せず, 末期に急激に減少する. これに反し白血球は初期に減少率多く, 放射を繼續するも次第に減少の率は少くなる. 卽ち赤血球は sigmoid 白血球は exponential の如き形となる. X線强度の大なるに從い, 彎曲度の强くなることは論を待たない.

赤血球の減少曲線を見るに, 第1回5r/day 及び20r/day 群等に於て, 赤血球數が400萬位に下降した所で, 放射繼續中にも拘らず一たん上昇している. これは赤血球減少に對する生體の抵抗(健常値維持の努力)によるものと思われる. これを破られ血球數が半減する位になると僅かな線量の增加で赤血球數は急速に下降し, 生命は危くなる.

赤血球數の半減はこのきわどい境界にあるもので, 健常海獏では安定度の高い赤血球數をX線放射によつて頗る不安定な境地に到らせたものである.

本實驗は方法上赤血球數の半減を尺度としたが, この生物學的意義は上記の如きものであつて, 單なる無意味な數字ではない.

又血球減少曲線は所謂傷害曲線と同じであるかどうかは疑問であるが, 傷害曲線が sigmoid である場合には傷害の平均値は50%であるから, sigmoid 樣の曲線を赤血球が示す場合その半減(50%)を目標とすることは妥當なる方法であろう.

白血球の減少曲線は附隨的に作られたものであるが, 赤血球が半減する頃には白血球は正常値の約1/3に減少せるものが多い. 傷害曲線が expone-

ntial になる場合には37%を以て傷害の平均値とされるから赤血球が$^1/_2$になる時期と白血球数が$^1/_3$になる時期とが殆んど同時期で兩系が同時期にほゞ同程度の障碍を示すものであり，この時期が生命の保持に重要な時期と考える．

又赤血球の減少曲線に於ける最低値は，第1回5r/day 群にては放射終了直後．50r/day 群では約1週間後，250及び350r/day 群では約2週間後である．即ち短期强放射になる程最低値を示す迄の時間は延長する．しかし10, 18, 20r/day 群ではこの關係が不明瞭であつた．白血球數は赤血球より早期に最低値を示す．赤・白血球共に最低値よりの上昇曲線即ち恢復曲線は短期放射程急峻であり，長期微量放射又その中でもX線感受性の低いもので一層長期の放射を受けたもの（例えば(11)）では恢復は著しく悪い．

又第2，3，4，5圖を見るに赤血球の減少が他より著明なる個體即ち赤血球系のX線感受性の大きい個體は，白血球の減少も亦早期に著明に起つている．兩系のX線感受性の個體差が別個のものでなく，兩系に共通の個體的感受性を持つものと考えられる．

第2節　X線强度と放射日數との相關及び Schwarzschild の p について

實驗によつて得られた各群の平均半減放射日數を兩對數グラフに描いたものが第11圖である．横軸はX線强度(r/day)，縦軸は半減放射日數である．250, 50, 20, 18, 10及び5r/day の6群は略ゞ直線を以て連ねることが出來る．この直線を數式にて表わすと

$t=1400r^{-1.31}$ (t：赤血球數を半減せしめるに要する放射日數

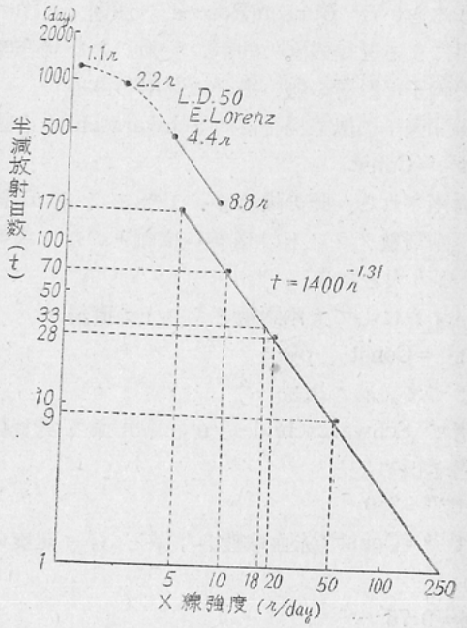
(r；X線强度(r/day)

而してこの直線の横軸とのなす角度は52.5°である．今これが45°の場合を考えて見ると，その場合の直線上の點はすべて縦目盛と横目盛とを加えたものの和は常に一定となる．對數目盛であるから

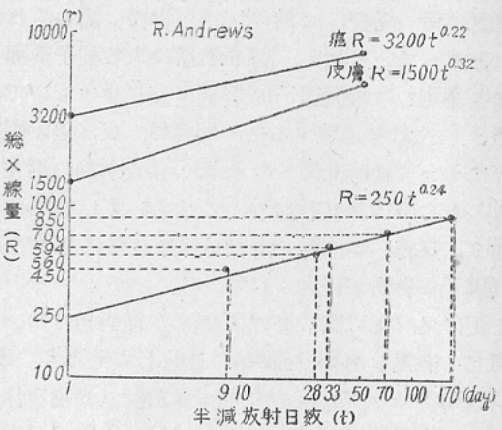
$\log r+\log t=\text{Const.}$

$\therefore rt=\text{Const.}$

第11圖　X線强度と半減放射日數



第12圖　總X線量と半減放射日數



これはrとtとの積が一定ならば作用は一定であるという Bunsen-Roscoe の法則であつて，時間によるX線强度の効率の變動のない場合即ち時間因子の影響の無い場合に適用し得る．

時間因子の働く場合には Schwarzschild の法則

$rt^p = Const$

が適用される．此の場合 $p<1$ なることが普通で，兩對數グラフ上の直線の横軸とのなす角度は45°より大となる．

いすれにしても兩對數グラフ上の直線は

$rt^p = Const \quad p \gtreqless 1$

によつて表わされる．

偖て Schwarzschild の p を算出する爲實驗式を書き改めると

$rt^{0.76}=250$

$rt^{0.76}=Const.$(赤血球數の半減という一定度の障碍)

$p=0.76$

文獻上 p の値を算出しているものに R. Glocker 及び H. Langerdorf[8] の豆の實驗がある．それによれば，13秒，5分，1時間の3種の放射時間を以て實驗し，$p=0.96$ としている．これは甚だ1に近い値であり，時間因子の影響は甚だ少いものと言える．同じく豆の實驗に於て Jungling[9] が氷室内に保つ場合には時間因子の影響は認められないと述べている如く，靜止狀態にある種子や卵の如き細胞には時間因子の影響は甚だ少いものであろう．文獻を通覽するに，回蟲卵，豆，猩々蠅卵等については時間因子の影響の存否兩論の混在するのもこの爲と思われる．これに反し後述する如く，皮膚，癌細胞，淋巴球等に於ては著明な時間因子の影響が報告されている．

更に又，第11圖に於ける直線の傾斜角について同じく海猿を用いた實驗に比較して見よう．E. Lorenz[10] はラヂウムの長期微量放射（日曜を休み毎日8時間放射）を行い，8.8, 4.4, 2.2, 1.1及び0.11r/day の5群について生存曲線を發表している．この曲線より50%死亡の放射日數を求め，第11圖に附記した．これを見ると，8.8r と4.4r とを結ぶ直線は私の實驗と略ゝ平行している．因に彼の報告にもある如く海猿の X線障碍死は貧血によるものである．但し放射日數に於ける私との可成大きな開きは50%貧血量と50%死亡量との差の他，放射條件の差や動物の抵抗力の差等によるものではないかと思う．

又同氏實驗に於て2.2r/day 以下は次第に直線より外れてゆくが，これは短命な動物に最長5年にも及ぶ長期間の實驗を行つている爲自然死の加つたものと考えられる．

マウスに於ける P.S. Henshaw[11] の中性子及び γ 線の實驗結果も略ゝ同樣の直線にて圖示し得るが，煩瑣になるので省略する．

第3節 總X線量の半減放射日數との相關について

前節に示した實驗式は，又總X線量と半減放射日數との相關式に書き改めることが出來る．

$R=250t^{0.24}$ (R: 總X線量 t: 半減放射日數)

第12圖はこの關係を兩對數グラフに示したものである．

私と同樣に兩對數グラフを用いて時間因子を論じているものに R. Andrews[12] がある．彼は諸家の研究成績を蒐集整理し，兩對數グラフに於て直線的な結果にまとめている．即ちX線によつて人體皮膚に濕性炎症を惹起するには，又上皮癌を治癒せしめるには，放射を分割すればする程如何に總X線量を增量せねばならぬかということを示している．これを第12圖に附記した．その數式として次の二式が示されている．

濕性皮膚反應……$R=1500t^{0.32}$

癌 治 癒……$R=3200t^{0.22}$

(R: 總X線量

(t: 分割回數又は放射日數

兩者の曝の差によつて，癌の治療に際し皮膚障碍を輕減するには，分割放射の方が一時放射より勝れていることになる．私の實驗は海猿であるが，略ゝ癌細胞と等しい曝を示す．人間の造血臟器につきこの關係が判れば興味あることゝ思う．

第4節 生體内に於ける X線エネルギーの減衰と障碍度に對する考察

生體内に於けるX線障碍の量，即ちX線の生體

内エネルギーは日を經るに從い減弱してゆく．この減衰の速度は對數曲線を描くということを1920年 Kingery が紅斑量について報告し，更に G.E. Pfahler[13]が種々の電壓についての減衰曲線を示している．

私の貧血の實驗に於てこれとは別に r/day の t 日後のエネルギーを rt^{-k} と假定すれば

r/day を t 日間放射した時の殘留エネルギーの總和は

$$\int rt^{-k}\,dt = \frac{rt^{1-k}}{1-k}+c$$

これに實驗値を入れて計算すると

$$k=0.76$$

これによつて次の式が得られる．

$$250=rt^{0.76}$$

この式は先きに Schwarzschild のPを論じた式と一致する．

故に本實驗では，體内のX線の貧血惹起エネルギーは $rt^{-0.76}$ なる減弱を示すものと言えよう．換言すれば，Schwarzschild の法則が成立すれば rt^{-k} なる減衰の法則が存在することになる．

然し乍ら，短期强放射と長期弱放射との比較をかゝる數式で解決し得るものであろうか．對數函數的減弱の法則に於ても Reisner[14]も Kingery の說の理論通りにゆかぬことを實證している．

生體の現象が數式的に扱えぬ原因は恐らくX線に對するその時間的經過中に於ける障碍現象の質的變化及び感受性の量的變化の爲であろう．本實驗では赤血球數の半減という現象を一應同一障碍度と假定して論じているのであるが同一貧血度はいづれの場合も同質であろうか？私の實驗は單に血球數を計算したのみで，深く質の問題にふみ入れることは出來ないが短期大量放射と長期微量放射とでは放射終了後の恢復曲線は前述の如く差があり，末梢血液中の血球數は同一でも，造血臟器の障碍は同質でないことを示すものと考えられる．

思うに，時間因子を廣汎なる範圍に問題にするとき，かゝる質の問題に關する難點は必ずつきまとうものである．卽ち皮膚に於て0.05r/min 以下では如何に放射を繼續するも紅斑は現れないというが，紅斑は現れなくとも潰瘍は作るかも知れない．

(0.05r/min.=72r/day)

又佐野氏等[15]は脾臟にX線又はラヂウムを放射し破壞顆粒の多寡を以て障碍曲線を作り，X線强度と障碍度との關係を論じているが，極端なる微量放射では破壞顆粒が出現しなくなるという．然しその際淋巴球の數は減少してゆくという．

卽ち紅斑とか破壞顆粒とかの或組織の一つの現象は或範圍のX線强度に對するその組織（卽ち皮膚とか脾淋巴組織とか）の部分的な現象であつて，その一つの現象を以て組織全體の障碍度を云々するわけにはゆかぬ．これ等のことは一つの障碍現象を以て急慢性共通の尺度となし難いことを示すものである．

飜つて貧血という現象を顧るに，造血臟器に對する血球減少度は皮膚に對する紅斑等と同樣の意義しか持ち得ないであろうか？

既述の如く，等しく赤血球數が半減しても急性症と慢性症とは同質とは考えられず，又末期に於ける赤血球の急速なる減少は母細胞の死滅というより，末期症狀である出血によつて減少するものと考えられ，この出血素因が急慢性いづれに著しいかもにわかに決定し難い所である．

然し乍ら急慢性いづれの場合に於ても，赤血球數の半減は動物を生死の間に置くものであり，少しく過放射すれば血球は急速に減少し動物は貧血死する．かくの如く生命を危くするという境地を障碍の尺度とすることは，これを單なる現象と看過することは許されず，大いなる現實的意義を有するものと思う．

第4章 結 論

急・慢性を通じX線障碍の主要症狀である貧血について時間因子を研究した．

1) 5, 10, 18, 20, 50r/day のX線强度で成熟海猪に連日全身放射を行い，赤血球數の半減する放射日數を求めた．又全放射期間24時間の分割放射によつて赤血球數を半減せしめる放射量を求めた．

2) 血球減少曲線を見るに，赤血球は sigmoid，白血球はexponential の如き形を示す．而して赤血球數が sigmoid の平均値である50%を示す時期に白血球數も亦 exponential の平均値である37%に近い値を示すものが多い，これは兩系が同時期に同程度の障碍に陷ることを意味する．

3) 赤血球系の感受性の大なる個體は白血球系の感受性も大であり，赤血球系の感受性小なる個體は白血球系も感受性が小である．

4) 放射終了時より赤血球數の最低値を示す迄の時間は短期强放射程延長する傾向がある．白血球のそれは赤血球よりも早期に到來する．

5) 各群の赤血球數半減に要せし放射日數の平均値は，X線强度及び總X線量と相關々係を有し，兩對數グラフ上に直線的な結果を得た．これを數式にて示せば

$$t=1400r^{-1.31}$$
$$R=250t^{0.24}$$

t：半減放射日數
r：X線强度(r/day)
R：總X線量

6) 上記の實驗式より Schwarzschild の p の値は0.76となる．卽ち

$$rt^{0.76}=\text{Const.}$$

となつて，この範圍の實驗に於ては Schwarzschild の法則が成立する．

7) Schwarzschild の法則が成立する時は，數學的に生體內X線エネルギーが rt^{-k} なる減衰をなすという法則が成立する，然し同一貧血度も急性症と慢性症とでは恢復曲線が異なり，その障碍が性質上には同一とは考えられない．從つて Schwarzschild の法則も rt^{-k} なる減衰の法則も質的には直ちに適用するわけにはゆかぬ．

8) 然し赤血球數の半減は動物を生死の境に致すことであり，生物學的に重要なる現實的意義を有し，急慢性を通じ障碍度の尺度として適當なものである．

第2篇 Schwarzschild 法則の適用範圍外 3, 2, 1r/day の X 線强度について

第1篇では海猿の赤血球數を半減せしめるに要するX線强度と放射日數との相關について5～250 r/day の範圍に於ては Schwarzschild の法則が成立することを認めた．

本篇ではこの範圍以下のX線强度に對しては如何なる相關が存在するかについて述べたい．

第1章 實驗方法

序に述べた如く本研究の當初の目標は耐容量の批判にあつたから，1，2，3，5r/day という微量の實驗が最も早くから行われていた．然し最も長期に亙る1r/day 群が滿2年に至るも貧血を起さず，果して何時迄放射を繼續せねばならぬかゞ常に心を煩わせた．

第1篇に得た直線を1r/day にそのまゝ延長すると，1r/day にて赤血球數を半減せしめるには平均1400日を要することになる．これは卽ち約4年間の長年月であり，當時既に2年間放射が繼續されていたが，これでは更に2年間實驗を繼續する必要がある．私の實驗態勢はこれを强行するに適當でなかつたので，次の考えによつて放射方法を變更した．

第1篇の考按に述べた理論の如く，體內に殘留するX線エネルギーは $rt^{-0.76}$ なる減弱を示すものと考え得る．されば1r/day によつて2年間放射された動物にも，かゝる殘留エネルギーの蓄積がある筈である．これに既知の減弱係數を持つたX線强度で補充放射を行い，赤血球數の半減期を求むれば，その差より殘留エネルギーの量を求めることが出來，殘留エネルギー量がわかれば1r/d-ay の減弱係數がわかり，惹いては1r/day のみで實驗した場合の半減放射日數が算出される．と考えたのである．但しこれは1r/day のX線强度が終始一定の減弱係數を有する場合に可能な方法である．

ともあれ，かゝる理論に立脚して一齊に實驗途中の1，2，3r/day 群を10r/day にて補充放射を行つた．

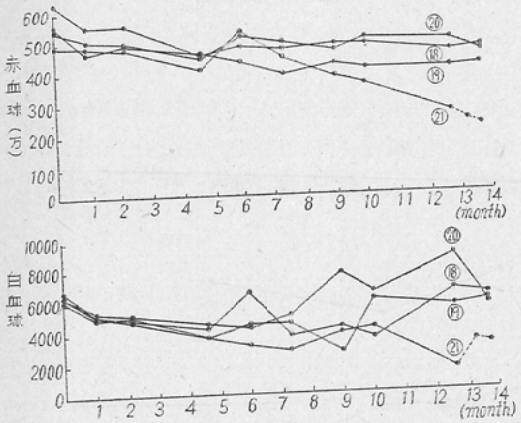
動物，放射條件等については第1篇と同樣である．放射法の個々については夫々圖に附記した．

第2章 實驗結果

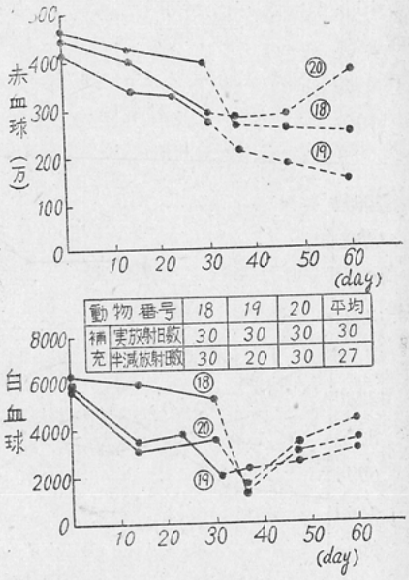
第1節 3r/day 群(第13・14圖)

本群は410日卽ち1年1カ月半に亙つて 3r/day のX線强度で放射された．第1篇の諸群に見られた所の赤血球は sigmoid 及び白血球は exponential の傾向を認めることが出來る．又赤血球の減

第13圖　3r/day 群
120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al. 106～116cm.
1r/min　3分　連日放射

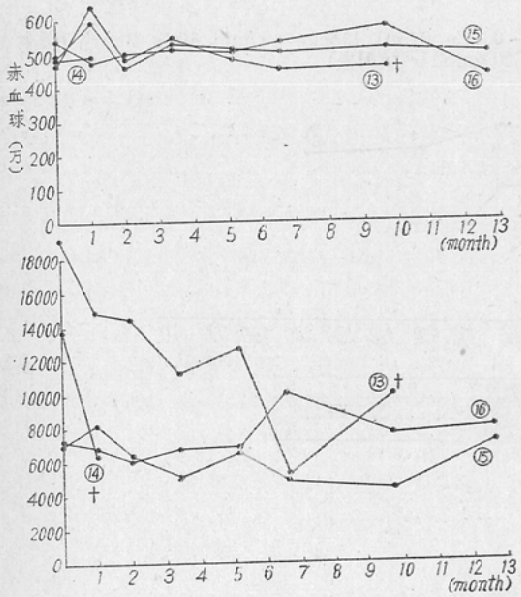


第14圖　3r/day 群　補充放射
(3r/day 411日總量1233r 放射後)
120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al. 116cm　1r/min.
10分　10r 連日放射

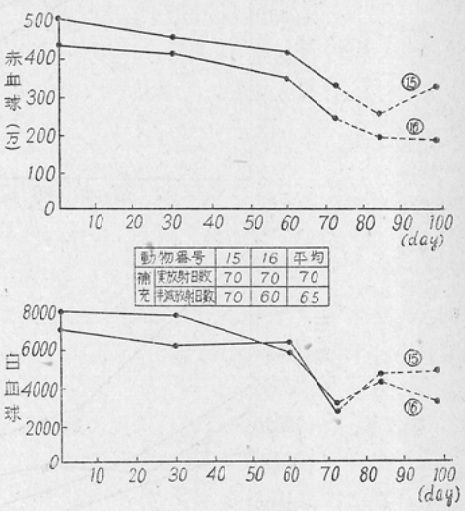


動物番号		18	19	20	平均
補充	実放射日数	30	30	30	30
	半減放射日数	30	20	30	27

第15圖　2r/day 群
120KVP. 3mA. フィルター0.3Cu. 0.5Al. 106～
116cm. 1r/min　2分　連日放射

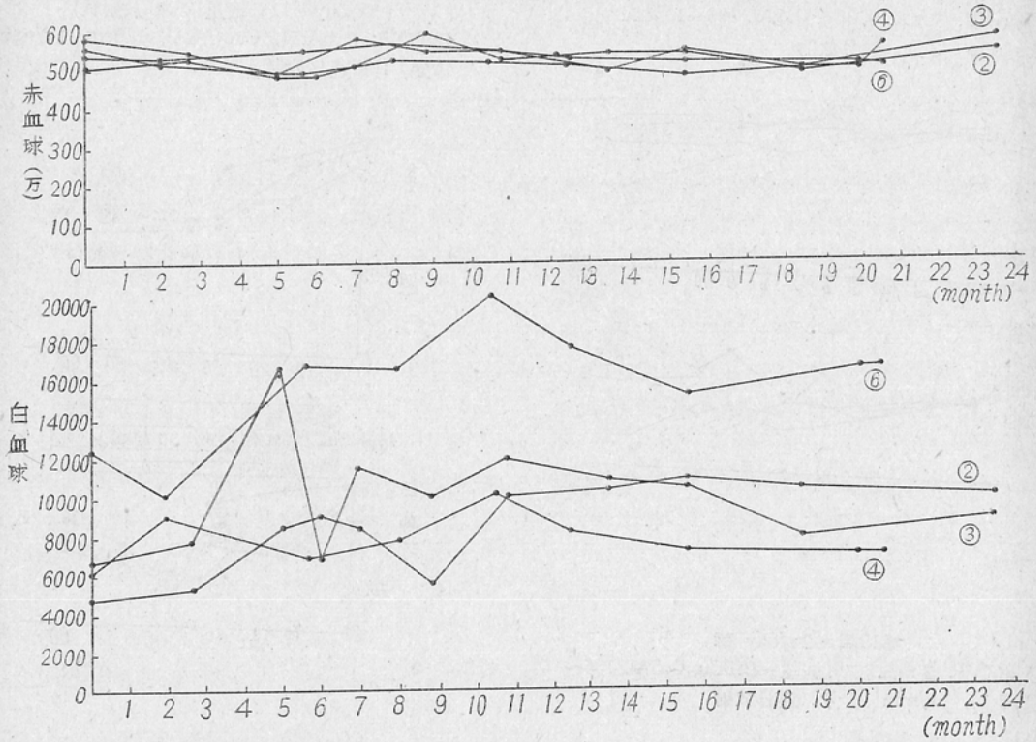


第16圖　2r/day 群　補充放射
(2r/day 381日總量762r放射後)
120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al. 116cm. 1r/min.
10分　10r 連日放射

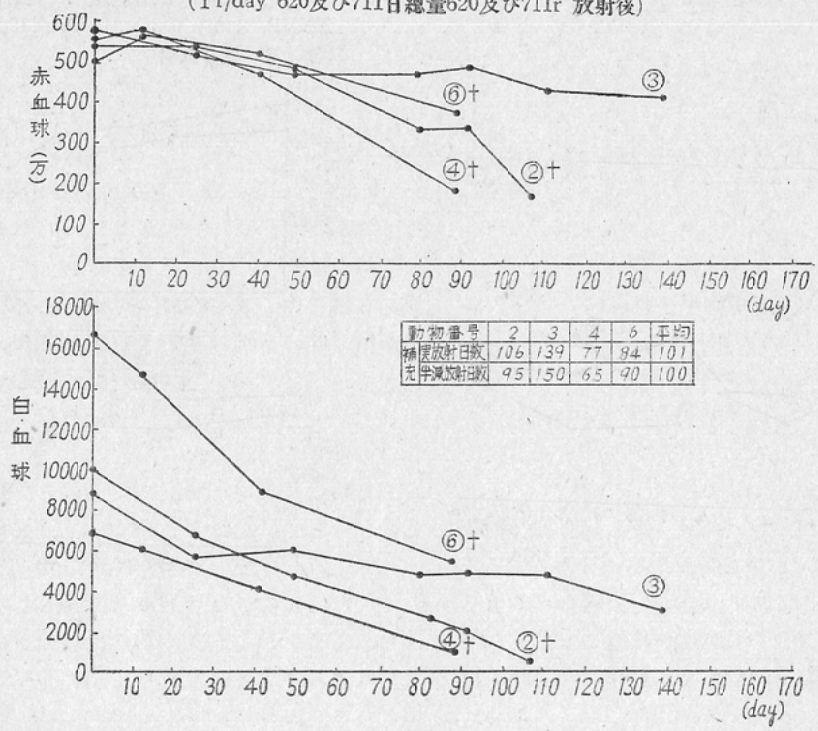


動物番号		15	16	平均
補充	実放射日数	70	70	70
	半減放射日数	70	60	65

第17圖 1 r/day 群 120KVP. 3 mA. フィルター0.3Cu. 0.5Al.
距離 110～120cm. 1 r/min. 放射時間 1分 連日放射



第18圖 1 r/day 群 補充放射 120KVP. 3 mA. フィルター0.3Cu. 0.5Al. 116cm. 1 r/min. 10分 10r 連日放射
(1 r/day 620及び711日總量620及び711r 放射後)



動物番号		2	3	4	6	平均
補充	放射日数	106	139	77	94	101
	半減放射日数	95	150	65	90	100

少曲線を見るに，放射開始後140日(4カ月半)頃までは徐々に減少の傾向を示すが，その後放射を繼續中にも拘らず再び上昇している點は，第1篇に述べた如く生體の健常値保持の作用によるものと思われる．

又その頃より赤血球も白血球も個體差が著明に出ているが，殊に白血球は放射繼續中にも拘らず却つて增加の傾向がある．而してこれは第1篇の如きX線强度の大なる場合には稀な現象である．

4例中1例はこの放射期間中に目的を達し半減放射日數は380日(約12.6カ月)と算出される．

他の3例は410日（約13.6カ月）即ち1230r放射後，直ちに10r/dayによつて補充放射をした．第14圖に示す如く30日(300r)の放射により略ゝ目的を達し，平均補充必要量は27日と算出され，前後放射を合せて1530rとなる．

第1篇の數式より計算すれば3r/dayでは半減放射日數は330日であり，總X線量は990rとなる．

實驗の結果はいづれもこの計算値より大である．第1篇に於ける經驗では總X線量の個體差は約±20%であるが，380日の例が−20%に當るとしても10r/dayの補充放射日數は20日以內とならねばならないので，實驗の結果はこの理論と一致せず補充放射の理論では3r/dayの半減放射日數を算出することは出來なかつた．要するに本群の半減放射日數は第11圖の直線の延長線より上方に外れることは確實であるが，その數値は求め得られなかつた．

第2節　2r/day 群(第15・16圖)

本群は第1篇の數式を適用すれば，平均半減放射日數は560日總X線量は1120rとなる．2r/dayの放射は1年餘即ち381日(762r)を以て打切られたが，この時赤血球は未だ全く減少の傾向なく，白血球も始め僅かに減少の傾向を示すも後には有意義なる減少は認められなかつた．

殘存せる2例に10r/day 70日700rの補充放射を行つたが，これはやゝ過剩で平均65日と算出される．第1篇に述べた如く10r/day 70日の放射は未放射動物に於ける平均半減放射日數である．故に2r/day 381日間の放射による殘留エネルギーは殆んど認められぬことになる．

故に本群の半減放射日數は第1篇の數式より算出される數値より多くこれ亦第11圖の直線の延長線より上方に位置することは確實であるが，その數値は全く不明である．

第3節　1r/day 群(第17・18圖)

第1篇の數式からは，1r/dayでは海猽の赤血球數を半減せしめるに要する放射日數は約1400日と計算される．

實際はその半分700日前後(2年)迄で打切られた．第17圖に示す如く赤血球數は全く減少せず，白血球は寧ろ增加している．

次いで第18圖に示す如く補充放射として，10r/dayを77～140日放射した．されば未放射動物に於ける平均半減放射日數70日よりも遙かに長期の放射に耐えていると云い得る．その平均は約100日と算出される．

即ち1r/day 約2年間の放射による殘留X線エネルギーは認められないのみでなく，却つて抵抗力の增加を發見するのである．

本群も亦第1篇の數式より算出される値より大であることは確實であるが，その數値は本實驗では得られなかつた．

尙本群の對照として2匹の海猽を同時に長期間飼育したが，血液像には特別な變化は見られなかつた．

第3章　總括竝びに考按

本篇の放射群は耐容量批判の爲に最も早くから實驗を開始されたものであるが，1，2，3r/dayの3群の中，赤血球數を半減せしめ得たものは3r/day 群の1例のみで，放射期間が甚だ長期と豫想される爲，途中で打切つた．そして10r/day 連日放射で補充放射を行い，前放射の殘留エネルギーの推定を行わんとした．

實驗の結果，補充放射日數は3r/day 群では約27日，2r/day 群では約65日，1r/day 群では約100日を要する．未放射動物に於ては10r/dayにて70日の放射が赤血球數を半減せしめる平均日數であるから，2r/day 群の前放射の殘留エネルギーは殆んど零に近い値であり，1r/day 群ではむ

しろ負の値となる．この現象は長期微量放射動物に於けるX線感受性の低下とせねば解決がつかない．このことは3r/day 群の補充放射量の計算値よりも過大となつた結果とも軌を一にする現象と考えられる．

即ち長期微量放射後の海獏に對しては，10r/dayなるX線強度はそれより遙かに低い強度の效果に匹敵するものと考えられる．これは馴れの現象とも言われているものであつて，3r/day 群に於ける放射中約8カ月後にあらわれる白血球增加現象も同一現象である．

所期の半減放射日數はいづれの群にも求めることは出來なかつたが，3r/day 群では1例約380日を以て半減したから，これに近い値と考えられる．いづれにしてもこれらの3群は第1篇の數式より計算される値よりは上廻ることは確實である．

何となれば，3r/day 群は明かに計算値を超過し，2r/day 群では前後放射を合計すれば約1400r となり數式より計算される値1120r を遙かに超過する．しかも後半10r/day という5倍のX線强度を用いているのである．

又1r/day 群と2r/day 群とは双方とも略ゝ同量の700r を放射しているが，補充放射の量は1r/day 群の方が遙かに多く必要であることより，1r/day の繼續放射により赤血球半減の貧血を惹起せしめるには，2r/day の繼續放射よりも更に大量の總X線量を要するものと考えられる．

要するに，第11圖に示された直線は5r/day 以下になれば，3r/day，2r/day，1r/day の順に次第にその傾斜角を增してゆくものと考えられる．この傾向は耐容量への移行を示すものと思う．

第4章 結 論

第1篇に引つゞいて，5r/day 以下のX線强度3，2，1r/day についての實驗結果をのべた．

1) 3r/day 群は410日間に1230r，2r/day 群は381日間に762r，1r/day 群は21及び24カ月間に620及び711r を放射した．

2) 3r/day 群の1例が約380日の放射によつて赤血球數の半減を示したが，他は3群とも半減に至らず，殊に1，2r/day 群は赤・白血球とも減少の傾向は認められなかつた．

3) 體內に於けるX線エネルギーの減衰が $rt^{-0.76}$ であると云う理論により，1，2，3r/day 群の殘留エネルギーを知るために既知の減弱係數を有するX線强度10r/day にて補充放射を行つた．

4) これにより，補充放射の平均日數は，3r/day 群では27日，2r/day 群では65日，1r/day 群では約100日と算出される．

5) これ等の補充放射日數は，未放射動物に於ける10r/day の平均半減放射日數70日と比較考案するに，第1篇に示した數式 $t=1400r^{-1.81}$ よりも遙かに過大の放射に耐えていることになる．この傾向はX線量の少いもの程著明である．又3r/day 群では放射繼續中にも拘らず放射開始後5～6カ月にして再び白血球增加の傾向がある．以上の事實は長期微量放射動物に於けるX線感受性の低下即ち慣れの現象を示すものである．

6) 從つて第11圖に示した直線は5r/day 以下のX線强度では次第にその傾斜角を增す．この傾向は耐容量への移行を示すものである．

第3篇 Schwarzschild 法則の適用範圍外 1r/min. 及び 5r/min. の X 線强度について

第1篇に於て Schwarzschild の法則に從う5～250r/day のX線强度について，第2篇に於ては該法則に從わない1～5r/day の弱X線强度について述べた．本篇では1r/min. 及び5r/min. なる强X線强度について論ずる．

佐野氏等は脾臟の「長時間弱照射に際する時間的因子の實驗的研究」[5]に於て1r/min. の强度が極大の障碍度を示すことを報告している(第22圖參照)第1篇第11圖の直線がより强きX線强度にもそのまゝ延長し得るかを檢討すると共に，上述，佐野氏實驗の1r/min. という强度に對して興味を抱き，實驗を試みたのである．

第1章 實驗方法

X線强度をこれまでは1日のX線量(r/day)として述べて來たが，本篇に於ては分間X線量(r/min.)として1r/min. 及び5r/min. を用いた．因に1r/min. は1440r/day 5r/min. は7200r/day

に相等する.

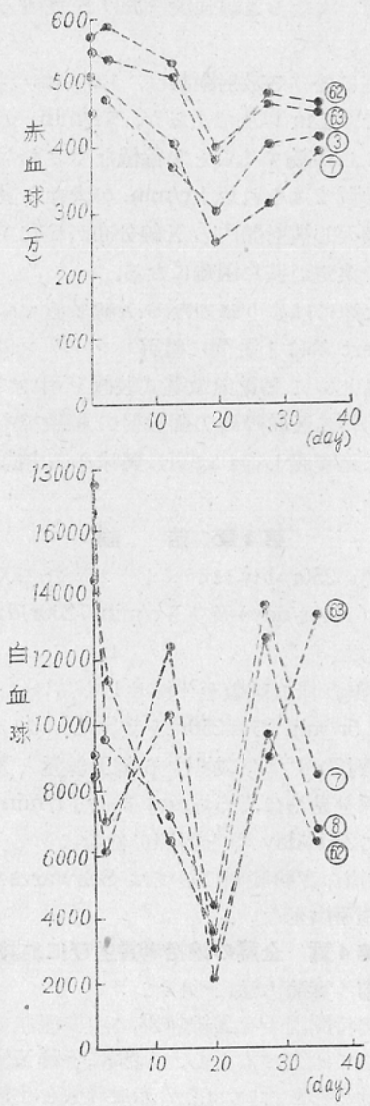
又これまでは1日量を約24時間々隔に放射する連日放射法であつたが, 本篇では連續1回放射である.

放射條件は各圖に附記した如くであり, 5r/min. は放射距離を短縮することによつて得た. 檢血法等は第1篇の通りである.

第2章 實驗結果

第19圖 1r/min 群

120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al. 116cm. 160分
連續放射 總量160r



第1節 1r/min. 群(第19圖)

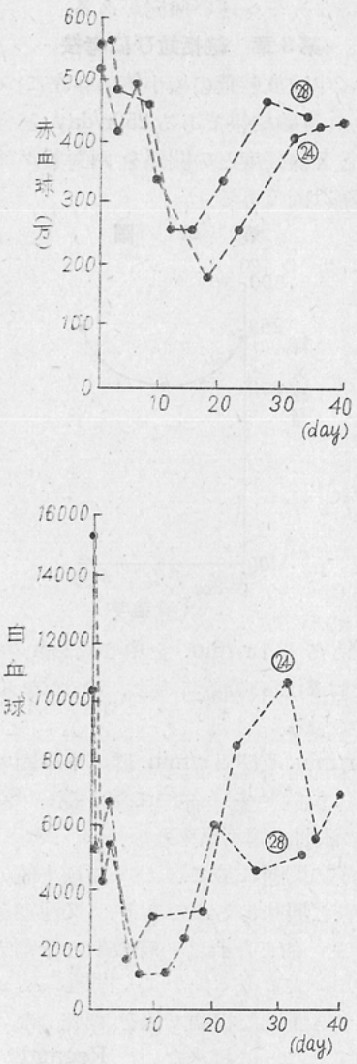
1r/min の半減放射時間を第1篇の數式より求めると160分總X線量は160r となる. この條件にて放射せる結果は第19圖に示す如く, 赤血球數は1例には半減を, 1例には半減に近く他の2例には$^2/_3$に減少した. この結果より赤血球數の半減に要する平均放射量は約200r と考える.

第2節 5r/min. 群(第20圖)

250r を2例に, 290r を1例にて實驗し, 250r

第20圖 5r/min 群

120KVP. 3mA. 0.3Cu. 0.5Al. 47cm.
(28)50分 250r. (24)58分 290r



の1例は途中斃死したが，1例は丁度赤血球數の半減を示し，又290rの例は過量であつた．個體差の多い動物實驗で，これだけの結果で推論するのは危險かもしれぬが，一應得られた結果をそのまゝ用いるとして5r/min.では250rを要するものとする．

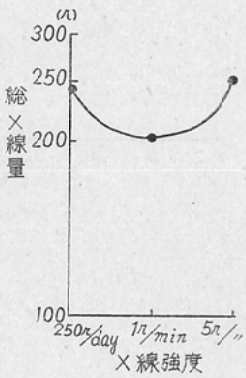
又1r/min.及び5r/min.の兩群では赤血球の最低値は放射終了後2～3週間の間に見られ，その後速かに恢復に向う．恢復の速度は5r/day等の長期微量放射群に比し著しく迅速である．白血球數の最低値は赤血球のそれより早期に到來し，恢復も赤血球よりやゝ速い傾向がある．

第3章 總括竝びに考按

第1節 半減放射量の極小値の存在について

第1篇の實驗結果である250r/dayと合せて，總X線量とX線强度との關係を兩對數グラフに示したのが第21圖である．

第 21 圖



これを見ると1r/min.を中心に250r/dayと5r/min.とは對照の位置にあり，1r/min.に於て極小を示して居る．

卽ち1r/min.及び5r/min.群は第11圖の直線の延長線上に位置せず，從つて第1篇のSchwarzschsildの法則は適用出來ない．

時間因子の問題に於て，かゝる極小値の存在することは甚だ興味ある事であり，又注意を要する事項である．何となれば一時放射と分割放射といづれが作用が大であるかがよく問題になるが，X線强度につき廣汎な相關々係を調査しなければ簡單に結論することは出來ない．Regaud[16]やSchinz[17]の唱える所の睾丸に於ては放射量を分割して投與しても障碍度は少くならないという說も再檢討を要するものと思う．

又この點につき佐野氏[8]は1～25r/min.のX線强度にて家兎睾丸に450rを放射し，1r/min.に於て障碍の最大なることを報告している．

又かゝる極小値については村上氏は唾液腺の實驗で5r/min.が極小なることを報告して居り，極小値を示すX線强度は組織により異なるものであろう．

第2節 大なるX線强度に於ける實驗方法について

本研究に於ける放射距離は，1r/min.以下のX線强度では1m以上であるが，5r/min.の實驗では47cmに短縮することを餘儀なくされた．私の用いた裝置ではこれ以上r/min.の大なる實驗はX線錐が擴大し被射體內のX線分布が變化するため放射量の決定が甚だ困難になる．

このためにはより强力なるX線裝置を必要とする．Sivert等は1分間に數百レントゲン以上の强度を得るために蓄電氣放電式裝置を用いている．

現存し得るX線障碍の强放射の極致である原爆の强度に迄實驗し得れば更に興味ある結果を得るであろう．

第4章 結 論

第1篇の250r/dayにつゞくより大なるX線强度1r/min(1440r/day)及び5r/min(7200r/day)につき實驗した．

1) 海猽の赤血球數を半減せしめるには1r/minで200r，5r/minでは250rを要する．

2) 兩對數グラフに於ける總X線量とX線强度との關係を見るに，5r/min群は1r/min群を極小として250r/day群と對照の位置にある．

3) 本篇の實驗範圍に於てはSchwarzschildの法則は適用出來ない．

第4篇 全篇の總括考按並びに結論

第1節 實驗方法について

X線の時間因子をX線障碍の主要症狀である貧血によつて研究せんとし，海猽に各種X線强度を以て全身放射を行い，その赤血球數を半減せしめ

るに要する放射時間又は放射總X線量を求めた.

この赤血球數の半減という狀態は急性慢性を問わず海獏を生死の間にもたらすもので, 生物學的に重要な意味を有し障碍度の尺度として適當なものと考える.

又本實驗の目標である赤血球數の半減放射日數は, 實驗中過不足なく放射を調節することは困難で, 圖表上よりの算出値を用いる場合もあつたが大局的には差支えないものと考える.

5, 10, 18, 20及び50r/day 群は連日放射であるが, 250r/day 群及び350r/day 群は全量を24時間に分割放射をした.

3, 2, 1r/day 群は放射期間が餘り長期に亙るため, 夫々410日, 381日及び700日前後にて打切り, 10r/day のX線强度で補充放射を行い, 殘留X線エネルギーを求め, 半減放射日數を算出しようとした. 然し長期微量放射動物に於ける感受性の變化の爲體內に於けるX線エネルギーの減弱係數は不明で, 目的を達しなかつた.

1r/min. 及び5r/min. 群は連續1回放射であるが, 5r/min. の强度を得る爲放射距離を短縮しなければならなかつた.

以上の如く實驗方法は可成複雜であるが, X線による實驗では數時間以上の連續放射は不可能であり, 又凡そ3年といわれる短命な海獏では餘り長期の實驗は出來ない.

全放射期間を等しくする連續放射とその分割放射とによつて差が生ずるかどうかについては, 猩々蠅の卵について Gregori[20]は連續放射の方が作用が弱いと言い, 鷄の胎兒については Karnofsky等[21]はその差を認めない等の報告があるが, いづれも短期間の實驗であり, 本實驗の如く數日から數カ月以上の長期の場合については不明である.

この問題については一般に分割數が十分大きければ連續放射と大差なしと考えられている. 私の實驗計畫にもこの點を顧慮してあり, 多少の誤差はあるかもしれぬが, 3篇を一連の結果として取扱つた.

第11圖に於ける私と Loreng との實驗結果の可成りの開きは貧血と死亡との差, X線とラヂウムとの差, 動物感受性の差の他に彼のは1日8時間で日曜を休む1週6日の放射であるが, 私のは1日數分間の連日放射であるという放射法の差にも多少の原因があるかもしれない.

又時間因子の問題には細胞分裂の時期や放射間隔も重要なる因子であり, 殊に放射の短期間のものには無視し得ないものと思われるが, これについては今後の研究を待ち, 本報告ではこれには觸れない.

第2節 血球減少曲線について

5r/day 以上のX線强度についてはいづれも著明な赤・白血球數の減少を示した.

減少曲線は赤血球は sigmoid, 白血球は exponential の如き形を示し, sigmoid の平均値である50%に赤血球が減少するとき, 白血球も exponential の平均値である50%に近く減少しているものが多かつた. 兩系の造血組織が同時期に略ゝ同樣の障碍度を示すものと考えられる.

又赤血球のX線感受性の大きい個體は白血球も亦他より感受性が大きく, 赤血球の感受性が小さい個體は白血球も亦感受性が小さいという傾向が認められた.

赤血球數の放射終了時より最低値を示す迄の時間は過放射に陷らない限り, 長期微量放射群よりも短期大量放射群の方が延長する. 即ち5r/day 群では放射終了直後が最低値を示し, 1日以內に放射を行う群では放射終了後2～3週間後に最低値を示す.

白血球數の最低値はそれよりやゝ早期に到來する.

又最低値よりの上昇曲線即ち恢復曲線は, 長期微量放射群は短期大量放射群より緩慢で, 同じく長期微量放射群の中でもX線感受性小さく, より長期に放射された個體は一層著しく恢復が障碍される.

3r/day 群では放射開始後5～6カ月後に放射繼續中にも拘らず白血球數が增加している. これは長期微量放射動物に於ける馴れの現象と考える.

3r/day 群では4例中1例が約380日で赤血球

數が半減したが，他は411日放射しても半減に到らなかつた．2r/day 及び1r/day 群では各々381日及び700日前後になるも赤・白血球とも著變を見なかつた．

第3節 Schwarzschild の法則について

第1篇に於ける5～250r/day の範圍に於ては實驗の結果次の關係式が得られた．

$t=1400r^{-1.31}$

$R=250t^{0.24}$

（t： 半減放射日數
（r： X線强度 r/day
（R： 總X線量

又これより總X線量とX線强度との間に次の關係式が導かれる．

$R=1400r^{-0.31}$

これ等の關係式は兩對數グラフに於て直線を以て表わすことが出來る．

又これより Schwargschild の式が導かれる．

$rt^{0.76}=Const$ $\therefore p=0.76$

このPの値はX線生物學上の時間因子として可成著明な數値である．

Schwarzschild のpは$\gtrless 1$と廣範圍にも考えられるが，$p<1$なる場合が普通である．X線生物學上 $p\geqq 1$なる場合として Regaud 等[16]の睾丸についての報告があり，又 Bauer[4]も骨髓細胞について $p>1$なる結果を報告しているが，廣範圍なX線强度について實驗して見なければ果してその組織が $p\geqq 1$なるや否やにはかに決定し得ないものと思う．

寫眞測光學に於ても强度が或範圍を超えるとPの値は變化するといわれているが，X線生物學に於ても廣範圍にpが Constant ではなかろう．

本實驗に於ても5r/day 以下及び250r/day 以上ではpの値が變化すると考えてもよいが，それでは複雜になるので次節の Kron の懸垂線方程式として總括し，pはやはり Constant で<1なりと考える常識的な解釋に從つた．

しかし $rt^{0.76}=Const$ として同一障碍度即ち赤血球數の半減という同一の結果になるとしても，急性と慢性とでは恢復曲線に差があり，質的に直ちに同一とはなし難い．又數學的には Schwarzschild の法則から導き得る rt^{-k}なる減衰の理論も同樣に質的には疑問である．又更にこの理論は第2篇の諸群には量的にもあてはまらず，長期微量放射動物ではX線感受性が低下する爲，著明な誤差を生じてくることを知つた．

第4節 Kron の懸垂線方程式について

寫眞測光學に於ける法則には Bunsen-Roscoe, Schwarzschild の法則をも包括する廣汎なる線强度に對する法則として Kron の懸垂線方程式[7]なるものがある．これは

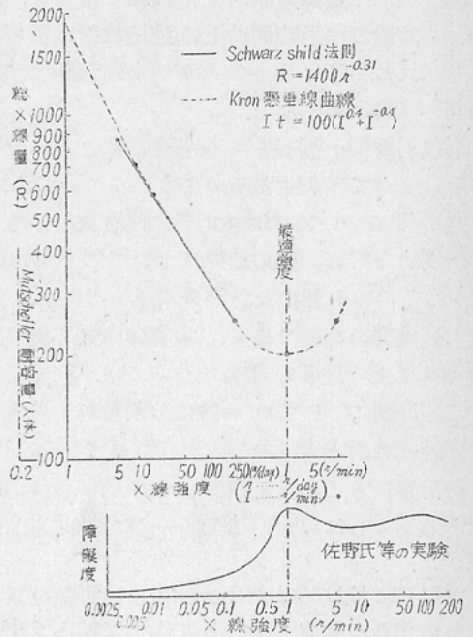
$$It=\frac{I_0t_0}{2}\left[\left(\frac{I}{I_0}\right)^{a}+\left(\frac{I}{I_0}\right)^{-a}\right]$$

I： 光線の强度
t： 露出時間
I_0： 最適强度
t_0： I_0 に於ける露出時間

最適强度とは最小の $I\times t$ で同一濃度を與える場合の光線の强度をいう．

本實驗に於ては最適强度は1r/min. であり，その時の半減放射總X線量は200r であるから

第 22 圖



$I_0=1$ $I_0\times t_0=200$ $\therefore It=100(I^{a}+I^{\gamma})$

これに實驗値を入れて a の値を求め，a=0.4 となつたので

$It=100(I^{0.4}+I^{-0.4})$

I: r/min t: 放射時間(分)

これを第22圖に點線にて示したが，實驗値とよく一致する．3 r/day 以下に於ては實驗値は求められなかつたが，250～5 r/day の直線の延長線より次第に上方に外れるという實驗結果よりの推測をもこの懸垂線はよく表わしている．

唯3 r/day 群の1例は380日，1140r で半減したが，これは Kron の式からの計算値396日，1188r と略ゝ一致する．

5 r/day 以下が次第に Schwarzschild の線より外れてゆくことは耐容量への移行を示唆するものと思われる．

先きに述べた如く海猿がX線貧血を起しやすいことは人類によく似た點で，他の動物よりもこの種實驗に適しているが，又その感受性についても LD 50(半減死亡量)が海猿では310r，人類では約400r と言われ，大差なく，これ等の相似點より人體の耐容量と比較することも意義あることと考へ，第22圖に Mutscheller の耐容量(人體) 0.2 r/day を附記した．

又寫眞測光學に於ては Kron の式の適用範圍より更に强度が小となれば急速に作用が減少し極限値以下になれば如何に長時間露出するも像は得られないという．これはX線生物學に於ける耐容量に相當するものと考えられ，寫眞現象とX線生物學とが非常によく似た現象を示し，且つ本實驗の如くその法則も亦共通することは誠に興味ある事實と思う．

廣汎なるX線强度に對する時間因子の研究として佐野氏等[15]の脾臟に於ける破壞顆粒の實驗がある．卽ちX線又はラヂウムを用い 200～0.0025 r/min. の範圍に亙り，總X量 300～450r を放射し，破壞顆粒の多寡を以て障碍度曲線を描いている．この實驗は最長168時間(7日)の放射であり，私の數カ月乃至2年以上に亙る實驗とは放射期間に著しい差があるが，X線强度としては略ゝ對應せる實驗である．故にその障碍度曲線を第22圖の下に附記した．强度目盛が r/day と r/min. とになつているが上下圖の對應點は同一强度である．

彼等の實驗は障碍度の絕對値が不明であり，私の結果と數的比較は出來ないが，第22圖に於て私のは總X線量であり彼等のは障碍度であつて曲線は逆になつているが，その傾向はよく一致しているのである．

5 r/min. 以上については私は實驗していないが，彼等の結果の如く波狀に經過する場合には，Kron の式をそこまで適用するわけにはゆかない．

又この二つの實驗は自分のは海猿の赤血球數であり彼等のは大黑鼠の脾臟淋巴球と研究材料は異つているが，X線强度と障碍度との關係は圖に見られる如く非常によく一致している．而して一つは數カ月以上に亙る實驗であり一つは數日以內の實驗である．このことはX線の時間因子の問題が Liechti の如き時間比によるものでもなく，又放射時間の長短に起因するものでもなく，一にX線强度の大小にこの問題の本質が存在するためではなかろうか．

但し1 r/min. がすべての組織の最適强度なり得るや又 Kron の懸垂線式が他の組織にも適用し得るやは今後の興味ある課題であろう．

第5節 全篇の主要結論

本實驗はX線障碍の主要症狀である貧血について時間因子の問題を研究し，寫眞測光學上の法則であり且つX線生物學上の時間因子の法則としても屢ゝ用いられる Schwarzschild の法則がよくあてはまり，而も寫眞測光學上更に廣汎な强度に對する法則である Kron の懸垂線方程式も亦X線生物學に應用し得ることを示した．

1) 實驗方法としては，海猿に各種X線强度を以て全身放射を行い，その赤血球數を半減せしめる放射時間又はその總X線量を求めた．

2) 5～250r/day の範圍に於て次の關係式が成立する．

$t=1400r^{-1.31}$

$R=250t^{0.24}$

$R=1400r^{-0.31}$

(t: 赤血球數を半減せしめるに要する平均放射日數

(R: 同上 總X線量

(r: X線强度(r/day)

又これ等の關係は兩對數グラフに直線を以て表わすことが出來る.

3) 5～250r/day は Schwarzschild 法測の適用範圍であり, 次の如く示されたる

$rt^{0.76}=Const.$

(赤血球數の半減という一定の障碍度)

4) 長期微量放射による貧血は短期大量放射のそれより恢復が著しく遲れることは, 貧血量は同一であつても質的には異なるものであることを示す.

5) 1r/day～5r/min. の範圍に於て, 1r/min. が極小の總X線量を示し, この1r/min. を最適强度とする Kron の懸垂線方程式がよく實驗結果の傾向と一致する. これは次の如く表わされる.

$It=100(I^{0.4}+I^{-0.4})$

(I: X線强度(r/min.)

(t: Iにて赤血球數を半減せしめるに要する平均放射時間(分)

6) 5r/day 以下に上記の Schwarzshild の法則が適用出來ない原因には, 長期微量放射によるX線感受性の低下が主なる役割を演じている. 又この傾向は耐容量への移行を示唆する.

文 獻

1) 前田盛正: 長期微量X線浴海猿に對する結核感染實驗, 京府醫大誌, 51卷4號, 474頁(昭和27). —2) 前田盛正, 山內正典: 慢性X線障害による貧血に對する葉酸(フオリアミン)の效果, 京府醫大誌, 51卷3號, 332頁(昭和27). —3) A. Liechti: Über den Zeitfaktor der biologischen Strahlenwirkung St. th. 33, 1, 1929. —4) R. Bauer: Untersuchungen über die Einwirkung unterschiedlich verabfolgter Röntgenstrahlung auf das Knochenmark und seine Zellelement, zugleich ein Beitrag zum Zeitfaktorproblem. St. th. 67, 424, 1940. —5) H. Holthusen: Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung von Röntgen.und Radiumstrahlen. St. th. 46, 273, 1923. —6) R. Sievert, A. Forsberg: The time factor in the biological action of roentgenrays III. Acta radiol. 17, 290, 1936. —7) 寫眞(藤澤著): 197頁, 岩波全書, 昭和15年. —8) R. Glocker, H. Langendorf. A. Reuss: Gesetzmässigkeiten des Zeitfaktorwirkung bei Röntgenbestrahlung. St. th. 42, 148, 1931. —9) O. Jüngling: Röntgenbehandlung chirurgischer Krankheiten, 1924. —10) E.Lorenz: Some biologic effects of long continued irradiation. Amer. J. Roent. Ra. Th. 63, 176, 1950. —11) P.S. Henshaw: The biological effects of pile radiations Radiology. 49, 349, 1947. —12) J.R. Andrews: The dose-time relationship for the cure of squamous cell carcinoma. Amer. J, Rönt. Ra. th. 65, 934, 1951. —13) G.E. Pfahler: Über die Sättigungsmethode in d. Röntgentherapie tiefliegender maligner Geschwülste. St. th. 25, 597, 1927. —14) Reisner: Untersuchungen über die Veränderungen der Hauttoleranz bei verschiedner Unterteilung der Strahlendosis. St. th. 37, 779, 1930. —15) 佐野潤鄕: 脾臟の長時間弱照射に際する時間的因子の實驗的研究, 日レ學誌, 16, 523(昭和13). —16) Cl. Regaud, R. Ferroux: Über die Einfluß des "Zeitfaktors" auf die Sterilisaiton des normalen und des neoplastischen Zellnachwuchses durch die Radio. therapie St. Th. 31, 495, 1929. —17) Schinz. Slotopolsky: Der Röntgenhoden. Ergebnisse der medizinischen Strahlenforschung I. 445, 1925. —18) 佐野潤鄕: レ線照射に際する時間的因子の實驗的研究(幼弱なる家兎のレントゲン睾丸), 日レ學誌, 14卷3號, 189頁. —19) 村上三郎: 唾液腺のレ線照射に於ける時間的因子の實驗的並に臨床的研究, 日レ學誌, 15卷, 350頁(昭和12). —20) Gregori: Die biologische Wirkung der kontinuirlichen und rhythmischen Röntgenstrahlung auf die Eier der Drosophia melanogaster. St. Th. 60, 422, 1937. —21) D.A. Karnofsky: Toxicity of Roentgen Rays to the Chick Embryo. Amer. J. Roent. Ra. Th. 64, 280, 1950.