

蛙卵の発育に対する高圧の影響に就て

岡山大学医学部第一生理学教室（主任：林 香苗 教授）

安 田 浩 士

〔昭和34年8月20日 受稿〕

I 緒 言

高圧の生活組織に及ぼす影響に就ては、当教室に於て従来多くの研究がなされているが、其等の研究の一端として蛙卵に対し、特にその発育を中心として高圧が如何なる影響を与えるかを実験観察し、些かの知見を得たので報告する。

細胞分裂に対する高圧の影響に就ては、既に Marsland¹²⁾、Pease^{16)~18)} 等により広汎な研究がなされ、800 気圧以上の高圧でも分割する *Ascaris megalocephala* の卵を除くと、*Echinodermata*, *Nematoda*, *Annelida*, *Mollusca* 等の卵分割が200~400 気圧前後の圧で阻止されることを報告している。一方、超音波^{8) 22)}、紫外線^{21) 9)}の如きものによる卵に対する作用に就ても古来多くの研究がなされている。之等の成績を比較検討してみるのも意味あるものと考えられる。

II 実験装置並びに材料・方法

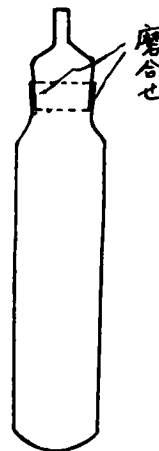
実験装置に就ては前に述べた様に、高圧油圧ポンペ装置を使用した²³⁾。一部の成績を除き大部分のものは小型 (500 kg/cm² 迄可能なポンペ) 高圧装置を使用した。

実験材料としてはとのさま蛙 (*Rana nigromaculata*) の卵を用いた。成書¹⁰⁾によればとのさま蛙は5月中旬頃に多く産卵するとされているが、当所では多少それより早い傾向があり、従つて実験は昭和25、26年の4月から5月にかけて行なつた。受精卵を得るには人工的に得る方法もあるが、恒温設備のないため気温の点等も考え自然産卵の時期を選んだ。冬眠よりさめた雄蛙に抱擁された雌蛙を一对 宛 容器内に飼育し、それより産卵された卵を受精卵として用いた。未受精卵は雌のみ別に飼育したものより採取した。

実験方法としては、特に述べる程のことはなく、蛙卵は大きさも大であり、ウニ卵の如く顕微鏡による観察も必要でなく、肉眼乃至 Lupe を以て種々なる変

化を時間を追つて観察した。受精卵を対照と加圧例とに大体二分して試験管に入れ加圧実験した。この際油の混入を防ぐために磨合せした蓋を有する試験管を特別に作り (第1図)、先端迄水を満して高圧装置内に

第 1 図



挿入した。加圧強度の大なる程蓋の開放性先端部より油が侵入するが、之は除圧後先端部を指で押えつつ蓋をとれば油の混入する恐れはない。かかる操作を加えた卵並に対照卵を夫々、水に満したシャーレに入れ、逐次起つてくる変化を時間を追つて観察したものである。尚、対照例は出来るだけ加圧例と条件を同じくする様に努めた。実験はすべて室温 (18°~20°C) に於て行なつた。尚、水圧の圧力単位は気圧を以てしたこと従来と同じ。産卵直後は卵相互の間隔が密であるが、時間の経過

するにつれ次第に周囲のゼリー層は膨潤し間隔は漸次広くなるので、この間隔から或る程度産卵の時期を推定出来る。

III 実験成績

A 予備実験として、室温に放置して蛙卵の分割発育過程の時間的経過を知る目的で産卵直後より変化を追つて観察した。温度を一定にし得ないため以下の実験は常に対照をとつて行なつたが、大体時間的経過は一定していた。即ち産卵後3時間前後になると球形をしていた卵の上極部がやや扁平となり、突然に幽かな線条を認め之が直ちに上半球をきれいに二等分する溝となる (第一分割)。更に略々1時間前後すると上極で第一分割溝と直交する経線上に溝が現われ、卵は4つの殆んど等しい大きさの分割球になる (第二分割)。その後1時間前後すると緯線的に、且つ上極に偏つた分割溝が現われて上下を不等分に二分する (第三分

第1表 分割前の受精卵に対する加圧成績

加圧強度 (kg/cm ²) 加圧時間 (min.)	分 割	その後の発育
50~100, 10	対照と差なし	正常発育39(%) 異常発育 0
200, 10	対照に比し分割溝が 少々深い。 不規則分割はない。	正常発育26 異常発育 2
300, 10	不規則な分割を認める。 分割時期は対照と変らぬ。	正常発育16 異常発育 6
400, 10	不規則な分割多し	正常発育 9 異常発育 7
500, 10	分割の時期が遅れる。 又不規則な分割がみら れる。(分割しないも の数が増す)	正常発育 0 異常発育16
300, 30	分割は認められるが、 不規則なものが多くな る。(32%)	正常発育 7 異常発育 3
500, 30	一部の卵に分割を認め るが、不規則なものば かりである(64%) 尚、除圧直後卵の一部 に陥凹を認めるものあ れど、時間の経過と共に 旧に復す。	正常発育 0 異常発育10
1000~1600 30分	卵の位置、方向が全く 乱れ、分割は全く認め られず。尚、一部のも のに細い半月状に褐色 した部分を認めること がある。	発 育 0

割). その後第三分割溝に直交した溝を生ずる(第四分割). それ以後は各分割球により遅速があり且つ不規則であるが、上半球では分割がどどん行なわれ多数の小細胞になる. 産卵後10時間前後経過すると分割溝は認め難くなる. 数日後蝌蚪となり外包を脱出し孵化が完成する. 以上の変化の内、第一分割から第四分割位迄は観察し易いし時間的経過も余り長くないので、主としてそれらの時期について圧の影響を見た.

B 受精卵に対する加圧実験:

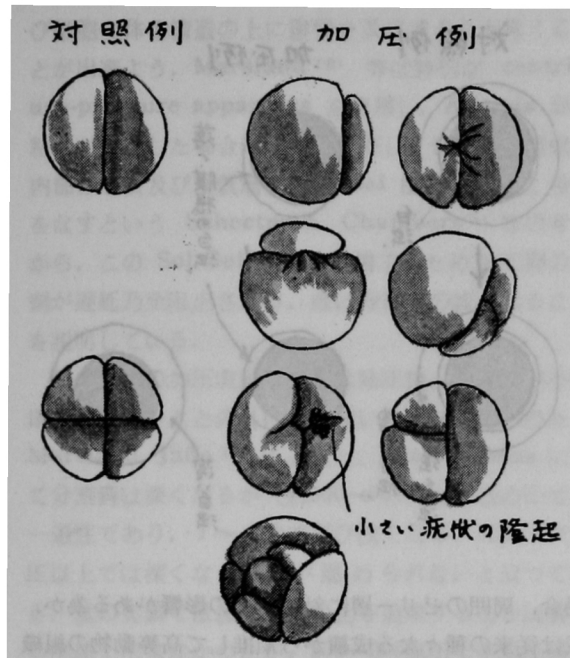
(1) 産卵直後より第一分割以前の時期の卵に対する加圧の影響:

100~1600 気圧迄の圧力を5~60分、受精後より第一分割以前の種々なる時期に加え除圧後、卵割の経過を追究した. その一部の成績を第1表に示したが、500気圧以下の圧力では分割を認めるが、1000気圧以上では全く分割は阻止される. 従つて1000気圧以上ではその後の発育もみられないが、500気圧では分割は

第2表 第1分割以後の受精卵に対する加圧成績

加圧強度 (kg/cm ²) 加圧時間 (min.)	加圧時期	分 割	その後の発育
100, 20	2-cell stage	対照と大差なし。 分割溝が少し深い感 じあり。	正常発育76 (%) 異常発育 3
300, 20	〃	分割がおくれる。 又多少不規則。	正常発育28 異常発育16
1000, 20	〃	分割は停止す。 (時間の経過と共に 不規則、不完全な溝 をみる)	発 育 0
100, 10	4-cell stage	対照と大差なく、 規則正しい分割を みる。	正常発育88 異常発育 0
300, 10	〃	対照は第3分割し始 めても加圧側には変 化なく、その後一部 のものはおくれて分 割をすすめるが、対 照が第4分割へ移る 時、第3分割をせず に対照と同時に第4 分割をし、以後同様 に進んでゆくもの がある。(以後対照 より少し早いもの もある)。	正常発育57 異常発育14
500, 10	〃	加圧中対照は第3分 割へ進んだが、加圧 例は除圧後も4-cell のまま、分割球の表 面に皺が生ずること もあるも時間と共に 消失す。 尚300, 10の場合と同 様に第3分割を経 ずして第4分割へ移 るものあり。分割溝 は溝が対照に比し深 く、歪なものが多い。	正常発育21 異常発育25
700, 10	〃	分割はおくれ、又不 完全、不規則な分割 を認める。	発 育 0
500, 30	〃	除圧後40分して対照 は第3分割を始めた が、加圧側は不規則 な分割で、溝も深 く、4 cellのまま。	発 育 0
100, 20	8-cell stage	加圧中対照は第4分 割し始めたが、加圧 例も除圧直後の観察 でも既に第4分割し ている。以後の分割 は対照と差なくむ ろ多少早い。	正常発育94 異常発育 0

第 2 図



認められても殆んど不規則、歪な分割であり、その後の發育を観察しても正常な發育をせるものは全く認められない。比較的低い圧では正常と大差を認めないが、300気圧前後より不規則な分割（第2図）が現われるようになり、その数も圧力が増すと共に増える。加圧卵に共通している事は、分割溝が深いことで、対照卵に於ては美しい秩序整然とした分割を示すに反して、加圧卵では人為的に刻み込んだ如き觀を呈する分割溝を示す。1600気圧という高圧では、全く分割が認められない外に、対照例乃至加圧例でも分割の進行するものは、どの卵も黒色の上半部を上、淡黄白色の下半部を下に秩序よく排列しているのに反して、その排列は全く乱れバラバラになっている。更にかかる卵はその後長く放置するも最初のままの姿から変化せず、又一部に多少の白色濁濁を生ずるも、対照卵の如く分割せざる場合の強い白濁輪は認められない。加圧卵が分割する場合、上述の分割溝の深いこと、不規則な分割を示すこと以外に、分割の時期がおくれる事がある（加圧強度の大なる程）。唯一部のものて正常の卵より多少経過が速やかに進行したのも認められたが、かかる時も除圧後或る時期迄は殆んど差がないか、おかれていた。尚、1600気圧加圧の場合、一部のものに細い半月状の褪色した部分を認めたが、之は分割する場合に溝となる部分に相当した場所の如く思われた。

(2) 第一乃至第四分割迄の時期の卵に対する加圧実験：

第2表に示す如く2~8 cell stageの卵に加圧したものに付き除圧後その發育経過を観察した。(1)の場合より変化を詳しく認めることが出来た。直接加圧中の変化は装置の関係上観察出来なかつたが、次の分割へ移る直前のものを撰ぶことにより加圧中の分割の有無を知ること出来る。100気圧、20分加圧の場合、除圧直後の観察で、既に加圧前より次の分割へ進んだものを認めたので、かかる比較的低い圧力下では何等分割に影響を与えていないということが云えよう。300気圧前後の圧力になると、分割は一時停止乃至遅延し、更に高い圧になると完全に阻止される。又、300気圧前後で種々不規則な分割を起し、例えば4-cell stageでも極めて不均一な4-cell或は3-cellなど（第2図）が認められるに至る。興味あることは300~500気圧で、除圧後の観察により分割が一時停止している像を呈しているものが、次の分割へ移ることなくそれを経ないで更に次の分割へいきなり移ることである。場合によつてはそれ以後は寧ろ対照より幾分分割が早くなることもある。尚、(1)と同様、分割溝は対照に比し加圧卵は溝が深く、又歪なものが出現する。分割前の受精卵への加圧成績と比較して、第一分割後の卵への加圧は同一加圧でもその影響が少ない様に思われる。

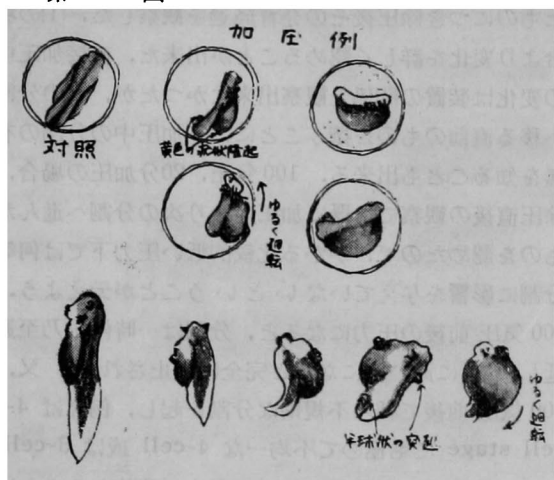
(3) Neurulaの時期に於ける加圧実験：

前二者の成績と比較して、圧影響が少ない様である。尚、比較的低い圧では促進的傾向を認め得るのではないかと考えて加圧してみたが、対照との間に認むべき差は見出せなかつた。

(4) 圧の後作用：

上述の加圧による卵が、その後如何に發育するかを観察することにより、圧の後作用ともいふべきものをしらべた。第1、2表に示す如く低い圧では正常な対照と差のない發育を示すものが多く、高い圧になるにつれ、正常なものの数が減じ、逆に異常形態をとるものが出現して来る（第3図）。更に蝌蚪として完全に孵化したものについても、高い圧（300~500気圧）では第3図（下）の如き異様な形態を具えた蝌蚪となり、正常な發育をするものの数は減じ、500気圧では全くなくなる。更に高い圧では異常形態のものも見られずすべて發育したものは見られなくなる。従つて一時的に不規則な分割を示したのものの中には途中で發育しなくなるものがあるものと考えられる。尚、異常な形態をしたものは、運動も正常のものとは異なり、容器の底をグルグルと廻転するか或は極めて緩徐に前進運動する。多くの異常な形態を具えたものを観察すると

第 3 図



大体次の如き点が認められる。即ち正常の蝌蚪に比し体が極めて倭小である、尾部の彎曲が著しい、腹部が風船状に膨大している、腹部或は背部に症状乃至半球状の突起を認める、眼を認め得ないものがある等極めて多様性に富んだ像が認められる。又、蝌蚪が寒天様の外包を脱出するのが、加圧ではおくれるものが多い。

C 未受精卵に対する加圧実験：

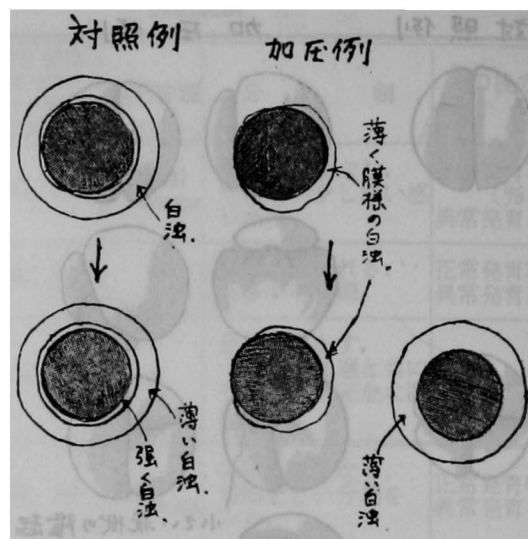
未受精卵に対し種々なる強度、時間の圧を加えてみたが、特別認むべき変化はなかつた。唯或る時期に極めて不規則な、分割溝に類似のものを生ずることもあつたが、その後何等変化は見られなかつた。従つて加圧により分割をおこさせること、或は parthenogenesis は認められなかつた。

D 加圧卵への加熱実験：

蛙卵は産卵直後から次第に外層にあるゼリー層が膨潤して厚くなるが、産卵後の受精卵に加圧した場合に此の層の膨潤に対し、圧は何等かの影響を与えているものと考えられる。之を間接的にみる為に、加圧卵に熱を加えておこる変化を観察して対照卵と比較した。大体 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 前後になると、非加圧卵のゼリー層は白色に濁濁し、時間の経過と共に薄くなるが、卵表面の層は強く白濁し二重層を形成する。之に対し、 $1000\sim 1600$ 気圧を加えた卵では僅かに膜様に、且つ eccentric に白濁を生じて前者と比べ、相当の相違を示す(第4図)。圧が低いとゼリー層の薄い白濁を生じ、更に低い圧では対照と同様の像を呈する。之からゼリー層の膨潤に対し圧が何等かの作用を与えていると考えられる。

尚、参考迄に魚卵(金魚卵の受精卵)に対する加圧実験を行なつたが、蛙卵のそれに比して圧に対する抵抗が強く、 500 気圧以上でも発育し得る。之は蛙卵の

第 4 図



場合、周囲のゼリー層に対する圧の影響がある為か、或は従来の種々なる成績から類推して高等動物の組織程圧に対し抵抗が弱いとも考えられよう。

IV 考 按

卵分割乃至発育に関する水圧作用の実験は古くから種々なる材料によつて為されている。即ち Regnard¹⁰⁾ は Salmonidae (魚卵) を $100\sim 650$ 気圧迄の圧で6時間加圧し、 $100\sim 200$ 気圧では対照と同様であるが、 $400, 500$ 気圧では6日後、 650 気圧では2日後死滅すると云い、その後 Draper, Edwards¹¹⁾ は Fundulus (海産) の卵を受精後直ちに加圧 ($1200\sim 1950$ lbs/in²) することにより対照より遅れて発育することを報告し、特に $1500\sim 1950$ lbs., $1\sim 2$ 時間加圧で、各分割期が対照より15分位宛おくれることから、細胞分裂の機構よりも発育をおこさせる過程に影響を与えるのであろうと云つている。又、同時にその後の発育に於て、体軀の彎曲、循環系の変化などの異常発育をなすものがあると云つて居る。その後、Brown,³⁾ Marsland,^{12) 13)} Pease^{10) ~ 18)} 等により Arbacia 卵を中心として多くの材料に就いての研究がなされ、大体 $200\sim 400$ 気圧で分割を阻止し得るといい、加圧により分割の遅延乃至停止することを述べているが、例外的なものとして Ascaris megalocephala が 800 気圧以上の圧力下でも分割することから 8000 米の深海にすむ生物の細胞分裂の可能性を指摘している。

一つの細胞が二つに分れるという過程は多くの反応を含んでいると考えられる。圧力がこの分割乃至分裂に作用する場合、かかる反応に関係する酵素系の働き

に直接影響を及ぼすと共に、細胞の Sol-Gel 反応及び細胞全体の構造の上に影響を及ぼすことも考えることが出来よう。Marsland¹²⁾等は特別な centrifuge-pressure apparatus を使用し、Arbacia 卵の粘性が加圧した場合減少するを証し、分割溝の形成に内部細胞質及び皮質層の Sol-Gel 反応が主要な役割をなすという Schectman, Chambers⁶⁾等の考えから、この Sol-Gel 反応を変調するため加圧卵の分割が遅延乃至阻止される、或は分割溝の浅くなることを説明している。

私の蛙卵の加圧実験に於ては除圧後、分割溝が不規則、歪であることの外に溝が深いことが認められた。Marsland, Jaffe¹⁴⁾によると、*Rana pipiens* に於て分割溝は深くなるが(約500~700気圧相当の圧で)一過性であり、1~4分で再び浅くなる、又約700気圧以上では深くなることが認められないと云つて居る。私の実験では加圧中の変化を追求することは装置の関係上出来なかつたが、200~300気圧でも除圧後分割溝の深いのが認められる。Marsland 等の云う様に、溝が一過性にだけ深くなるのならば、それは除圧後には観察出来ない筈である。何れにしても、蛙卵の場合、溝の深くなることは確実であり、之は Arbacia 卵の場合と趣きを異にして居る。分割が遅れ又は阻止されること、不規則な分割がみられること等に於て、Arbacia 卵を含めその他の卵分割と本質的な相違は多分ないと思われるが、Sol-Gel 反応からのみでは蛙卵の観察成績は説明され難いとも考えられ、蛙卵が卵、黄を多く有し比較的大きい卵であることに、かかる相違の一因があるのかも知れない。尚 Marsland¹⁴⁾等の実験温度は 23~25°C、私の場合 18~23°C であり、温度に於ては大差がないと考えられる。

加圧卵が除圧後、或る stage をとび越えて次の stage に移ることが観察されたが、この興味ある現象は、Marsland¹²⁾、¹⁸⁾等、或はその後行なつた教室のウニ卵の観察(未発表)から類推して、加圧により細胞質の分割は停止しても細胞核の方は分裂してゆくためであろうと考えられる。

受精蛙卵に対する圧影響は、その卵の分割時期により相違があり、第1、2表で判る如く同一加圧でも分割前の方が分割中(2~8 cell stage)のものより影響が大きい。更に Neurula では圧影響があまりみられない。X線照射²⁰⁾の場合、受精卵が最も感受性大であり、次いで第1分割卵、Neurula、蝌蚪の順であるという報告があるが、私の圧実験の成績とも同じであり發育時期によりその感受性が異なつて居ることが

よくわかる。更に超音波⁶⁾、²²⁾の場合にも、分割前に処理した方が分割後に処理したものより發育の異常、或は不規則な分割を示す範囲が多いという成績がある。

さて、生活組織に対する物理的な要因として Vlès²⁴⁾は、機械的エネルギー、radiation のエネルギー、電気エネルギーの三つに分類しており、機械的刺激を更に高水圧、ガス圧、重力作用、遠心力、超音波等の五つに分け、高水圧をその第一番目に上げている。かかる機械的刺激とみられるものの卵分割或は發育に対する諸研究者の種々なる成績を参考としその内の二、三につき比較検討して卵分割乃至發育に対する圧作用を論じてみよう。

ヒキガエルの卵を遠心沈澱すると尾が頭の先についている如き畸型を生じたと云われているが、之は内部の細胞質の移動することによるものと思われ、私の使用した高水圧は全周から平等に作用するものであり、従つて生ずる畸型も自ら差のあるわけである。又、Beams, King¹⁾、⁶⁾が重力の150,000倍の遠心力により蛔虫卵の卵割を阻止したというが、この遠心力によつて卵に加えられた圧力は Marsland の示す如く僅かな皮質の液化を惹起させるにも足りないものである。従つてこの遠心作用の影響が卵割現象にとつて重要な或る種の物質の沈澱によるものであると云えよう。

超音波⁶⁾はウニ卵の分割を遅らせ、不規則にする、軽度乍ら促進効果が観察される、受精膜形成を促進する、異常發育をさせる等の変化をおこさせる。之に対し、圧作用はウニ卵の受精形成を抑制する、¹¹⁾、¹⁷⁾卵分割を遅延乃至阻止せしめる¹²⁾ことなどが認められ、超音波の如く促進作用を認める如き成績が殆んどみられない。或は非常に低い圧の処で促進させる如き圧があるのかもしれないが、私の蛙卵に於ても明らかに促進したという事実は認め難かつた。

尚、加圧により、特に500気圧前後迄の圧力により著明に異常形態を具えた蝌蚪を認めた。即ち、正常に比し体の倭小なこと、彎曲の著しいこと、体に膨隆乃至突起を認めること、眼を具えてないものがあること等の畸型を呈している。之より程度は軽いが類似したものが多数の対照中に稀に見られることもある点から圧に特異的なものがどうかは断言出来ないが、唯 Rugh²⁰⁾の蛙卵のX線照射により異常形態を生じたという成績をみると、非常に私の見たものと酷似していることは興味深いものであり、發育過程に何等か傷害をうければその起させるものの種類によらず、かかる畸型を生ずるものかもしれない。又、この加圧受精

卵から畸型を生ずることは、Chromosome の Aberration によるという考え方も出来ようが、今後更に核、染色体の詳しい研究が必要であろう。

最後にゼリー層に対する圧の影響に就て一言したい。蛙卵のゼリー層は構成物質も明らかでないが、内部の卵に比して比較的均一なものと思われるから多分圧作用の影響も少ないと考えられる。併し前述の加熱実験におけるゼリー層の態度が加圧で異なる事実から、分割前に加圧せる方が分割後に加圧したものより影響の大きいことに何等かの影響を及ぼしていると考えられる。産卵直後からゼリー層が膨潤する現象に対し特に圧は著明に働くのではないかということが、ウニ卵の受精膜隆起が圧で抑制されるという事実¹⁷⁾とも関連して十分考え得るのではあるまいか。従つて私の蛙卵の成績に於て、このゼリー層に対する圧影響も除圧後の発育に対し見逃し難いものと考えられる。

V 結 論

蛙の受精卵に対し水圧を加えた場合、次の如き成績

が得られた。即ち、

- (1) 1000気圧以上では分割は全く阻止される。
- (2) 300~500気圧では不規則且つ歪な分割が認められ、分割は遅延する。又、加圧卵は対照に比し分割溝が深い。
- (3) 除圧後分割の或る時期（例えば第3分割）を越えていきなり次の stage に移行するものがある。
- (4) 受精後種々の時期の卵に圧を加えた場合、分割前の卵が最も圧の影響を受け易い。
- (5) 加圧卵より体の倭小、彎曲、膨隆など異常形態を呈する蝌蚪が出現する。
- (6) 未受精卵には形態的に認められる如き変化はなく、parthenogenesis も生じなかつた。
- (7) 圧はゼリー層にも影響を与えるものと考えられる。

攔筆するに当り終始御懇篤な御指導並に御校閲を賜わつた恩師林教授に謹みて感謝の意を表す。

文 献

- 1) Beams a. King : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 34, 439, 1949.
- 2) Blum, Robinson a. Loos : J. of General Physiol., 35, 323, 1952.
- 3) Brown : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 5, 335, 1934.
- 4) Cattell : Biol. Rev., 11, 441, 1936.
- 5) Chambers : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 12, 149, 1938.
- 6) Davson : A Textbook of General Physiology, J. & A. Churchill Ltd., London, 1951.
- 7) Draper a. Edwards : Biol. Bull., 63, 99, 1932.
- 8) 原 : 実験生物学報, III, 2, 47, 1953.
- 9) Henshaw : Biol. Bull., 71, 399, 1936.
- 10) 市川 : 蛙学, 裳華房, 昭26年.
- 11) Johnson, Eyring a. Polissar : The Kinetic Basis of Molecular Biology, Wiley, New York, 1954.
- 12) Marsland : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 12, 57, 1938 ; *ibid.*, 13, 15, 1939 ; *ibid.*, 36, 205, 1950.
- 13) Marsland a. Brown : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 20, 295, 1942.
- 14) Marsland a. Jaffe : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 34, 439, 1949.
- 15) 本川 : 一般生理学, 上巻, 三共社, 昭24.
- 16) Pease : Biol. Bull., 78, 103, 1940.
- 17) do : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 19, 1, 1942.
- 18) Pease a. Marsland : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 14, 407, 1939.
- 19) Regnard : C. R. Soc. Biol., 37, 48, 1885.
- 20) Ruch : J. of Cell. a. Comp. Physiol., 43, Suppl. 39, 1954.
- 21) Schectman : Science, 85, 222, 1937.
- 22) 高島, 桂 : 解剖学雑誌, 28.
- 23) 丹原 : 岡医誌, 第64巻, 5号, 第683号, 909, 昭27年.
- 24) Viès : Traité de physiol. norm. et path. T. 1, 861, 1933.

Studies on the Effects of high Hydrostatic Pressure upon Fertilized Frog Eggs

By

Hiroshi Yasuda

1st. Dep. of Physiol. Okayama Univ. Medical School

(Director : Prof. K. Hayasi, M. D.)

Following results were obtained with fertilized frog eggs.

- (1) The cleavage delays at 500 kg/cm² and stops at higher pressure than 1000 atm.
 - (2) The cleavage furrow becomes irregular and deep at 300~500 kg/cm².
 - (3) Abnormal tadpole often develops from compressed fertilized eggs.
 - (4) It is supposed that jelly layer of frog eggs is also affected by high pressure.
-