

氏 名(本籍) にら 蕪 さわ 澤 けい 圭 じ 二 ろう 郎

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 520 号

学位授与年月日 平 成 7 年 3 月 9 日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文題目 非破壊変形に対する選抜による卵殻強度  
の遺伝的改良に関する研究

論文審査委員(主 査) 教 授 扇 元 敬 司

教 授 山 岸 敏 宏

教 授 菅 原 和 夫

## 論文内容要旨

近年、卵用鶏の産卵能力は著しく向上したが、その一方で卵殻質の低下による破卵の増加が問題になってきた。破卵は多大な経済的損失をもたらすため、卵殻強度の改善による破卵の発生防止が望まれるようになった。これまで卵殻強度の遺伝的改良をめざして、多くの選抜実験が試みられた。これらの選抜実験では、卵比重、卵殻重、卵殻厚、卵殻卵重比、破壊強度、非破壊変形、破卵率などの形質が卵殻強度の指標として用いられた。このうち、卵比重と非破壊変形は卵を割らずに測定する方法で、測定による経済的損失がない点で優れている。しかし非破壊変形については、当初精度の面で問題があり単一形質の選抜実験は行われなかった。その後非破壊変形測定器の改良がなされたことから、卵殻強度の遺伝的改良における、非破壊変形に対する選抜の有用性を明らかにする必要がでてきた。

本研究では、この非破壊変形に対して、10世代にわたり大小2方向への選抜実験を行い、卵殻強度の改良における非破壊変形の有用性について検討した。また非破壊変形と他の卵殻諸形質や産卵能力との関連性について明らかにした。ついでこれらの知見をもとに、実際の選抜育種における、非破壊変形に対する選抜による卵殻強度の改良効率について予測した。次に卵殻強度の改良が孵化率に及ぼす影響について検討し、卵殻を利用した家禽胚の培養法の開発を試みた。最後に、選抜系統の卵形成における特徴から、卵形成と卵殻強度の関係について検討した。

### 1. 非破壊変形に対する選抜による卵殻強度の改良の可能性

非破壊変形に対する大（弱系）及び小（強系）方向への2方向選抜実験を10世代にわたって行い、非破壊変形の選抜反応と破壊強度への影響について調べた。

選抜形質である非破壊変形は、強系、弱系ともに選抜に伴い選抜反応が認められ、第10世代では強系が $51.9 \pm 6.2 \mu\text{m}/\text{kg}$ 、弱系が $100.6 \pm 13.4 \mu\text{m}/\text{kg}$ となった（図1）。しかし選抜反応は強系の方が小さく、強弱2系統間で非対称な反応を示した。破壊強度については、非破壊変形に対する選抜反応が小さかった強系においても、安定した増加を示し、その結果第10世代では強系が $3.75 \pm 0.$

46kg、弱系が $2.17 \pm 0.34$ kgとなった（図2）。

このことから非破壊変形を指標とした選抜によって、卵殻強度の改良が可能であることが示された。また非破壊変形の実現遺伝率は、強系では0.16、弱系では0.38と推定され、強弱2系統間で非対称な値を示した。

## 2. 非破壊変形と他の卵殻諸形質及び産卵能力との関連性

選抜において、非破壊変形と同時に測定した卵殻諸形質のデータと、個体ごとの産卵データをもとに、非破壊変形と他の卵殻諸形質との関連性、及び経済形質である卵重や産卵能力との関連性について検討した。

卵重は強系、弱系ともに減少し、弱系の方がその傾向が著しかった。卵殻厚は、強系では増加する傾向が見られたが、弱系では減少する傾向を示し、選抜によって強系は卵殻が厚く、弱系は卵殻が薄くなった。卵殻重は、強系ではほぼ一定の値で推移したが、弱系では直線的に減少した。卵殻卵重比は、強系では増加する傾向を示したが、弱系では減少する傾向を示すなど、卵殻厚とよく似た推移を示した。初産日齢は、強系が遅くなる傾向を示したが、弱系は早くなる傾向を示した。短期産卵率は、弱系では一定の水準で推移したが、強系ではほぼ直線的に低下した。長期産卵率は、短期産卵率とよく似た推移を示した。したがって非破壊変形への選抜によって、卵殻諸形質及び卵重や産卵能力に相関反応のあることが示された。特に非破壊変形の小方向への選抜では、卵殻厚や卵殻卵重比は増加し、卵重や産卵率は低下することが明らかとなった（図3）。

また破卵防止における選抜の効果を、第3世代と第7世代で検討したところ、破卵の出現率は、強系では両世代とも1%以下で差は認められなかったが、弱系では第3世代強系よりも高く、第7世代ではさらに高くなった。また両世代とも軟卵の出現率は弱系の方が高かった。したがって弱系では破卵の出現率が高くなり、また軟卵の割合が高く、卵殻強度の低下が確認された。一方強系では、破卵の出現率の減少は確認できなかったが、弱系との差は明らかであり、非破壊変形に対する選抜が、破卵や軟卵の出現率に影響を与え、卵殻強度に影響することが示された（表1）。

### 3. 非破壊変形を卵殻強度の指標とした場合の選抜方法の検討

そこで選抜実験で得られたデータをもとに遺伝パラメータを求め、卵殻強度の遺伝的改良のための選抜法を検討した。

非破壊変形をはじめとして破壊強度及び卵殻諸形質の遺伝率は0.22~0.48と中程度の値が推定され、非破壊変形と破壊強度、卵殻卵重比は弱系の方がやや高かった。また産卵能力形質では、0.19~0.41と中程度の遺伝率が推定され、強系の方が高い値が推定された。卵重と卵形係数では両系とも0.5~0.6の高い値が推定された(表2)。形質間の遺伝相関については、非破壊変形と卵殻諸形質との遺伝相関は、高い負の相関が推定され、特に卵殻卵重比と卵殻厚との相関が高く、非破壊変形は遺伝的には卵殻卵重比や卵殻厚との関係が大きいことが示された。非破壊変形と産卵率との遺伝相関は、強系が弱系よりも高い正の値が推定された。また他の卵殻諸形質と産卵率との間には、負の遺伝相関が推定され、強系の方が弱系よりも高かった。非破壊変形及び破壊強度と卵重との遺伝相関には系統間で差がみられ、卵殻強度と卵重との相関関係において強系と弱系で違いがあると推定された(表3)。

これらの遺伝パラメータをもとに、卵重や産卵率が低下しないように考慮した場合の卵殻強度及び卵殻諸形質の改良量を、選抜指数法を用いて予測した。卵殻強度の情報として非破壊変形、卵殻厚、卵殻卵重比の3つの形質について検討したところ、破壊強度を改良する場合の予測では卵殻卵重比が最も効率が良く、次いで非破壊変形、卵殻厚の順であった。しかし破壊強度を直接卵殻強度の情報として用いた場合の効率を上回ることはできなかった(表4)。

### 4. 卵殻強度と孵化の関係

また卵殻は、食品としての卵を保持する保存容器である一方、受精卵の孵化において胚発生の場所を形成し、胚を保護する役割を持っていることから、卵殻強度と孵化の関係について、非破壊変形に対する選抜実験の結果を中心に検討した。

対受精卵孵化率は世代の推移に伴い、強系がしだいに高くなるのに対し、弱系は70%付近で推移し、系統間の差がしだいにひろがった。したがって非破壊変形の小方向への選抜が、孵化率を向上させる効果があることが示された

(図4)。また強系の発生中止卵の出現率が、孵卵初期と孵化直前の両方の時期で、選抜に伴い低下し、特に孵化直前時期に選抜の影響が強く現れていた。また2～3週間の長期保存卵の場合、強系においては孵化率が改善され、80%台の高い値を示したことから、非破壊変形の小方向への選抜は、2週間以上の長期保存卵の孵化率を改善する効果があることが示された(図5)。

しかし個々の受精卵の非破壊変形の大きさと孵化率の関係について、第8世代の孵化時に検討したが、系統間に差は認められたが、非破壊変形の大きさと孵化率には、一定の傾向は認められなかった。

長期保存卵の孵化率に非破壊変形が関係することから、受精卵のパッキングによる長期保存の孵化率に及ぼす影響を調べたところ、3～5週間保存における孵化率の向上がみられ、6週間保存でも孵化例が得られた(図6)。したがってパッキングにより保存中の卵重の減少を抑えることが、孵化率の改善に関連のあることが示され、このことが強系の孵化率の向上の一因と考えられた。

このように卵殻は胚の培養器として重要なものであり、卵殻強度の強い系統の卵の方が、保存容器としても、また培養器としても優れていることが示された。

そこでこうした卵殻の特性を利用して、ウズラ初期胚をニワトリ卵殻を用いて培養し孵化させることを試みた。強系のニワトリ卵殻を用いて3つの方法で、培養を行ったところ、3つの方法とも孵化例が得られ、孵化率は11.4～17.6%であった(表5)。これによってウズラ胚をニワトリ卵殻を用いて、放卵直後の発生初期の段階から孵化まで培養できることが示され、孵化における卵殻の重要性を確認した。

## 5. 選抜鶏の卵形成に見られた特徴

非破壊変形に対する選抜実験から、卵殻厚と卵殻卵重比が、卵殻強度に大きく関わるようになったので、選抜鶏の卵形成における特徴を調査した。

まず第9世代の鶏で推定した子宮部への移行時間は、強系の方がわずかに早かった。また第10世代の鶏で推定した子宮部滞留時間は、強系の方が長いことが示された。したがって卵殻強度と子宮部滞留時間の間に関連のあることが示唆された(表6)。次に卵管形状への選抜の影響を第9世代の鶏を用いて調査

した。その結果卵管長は弱系の方が長かった。各部位の卵管全体に対する割合では、弱系は強系よりも子宮部の割合は小さかった。したがって強系の方が卵管の長さは短いものの、卵殻を形成する子宮部の割合が大きいことが示された（表7）。これらの結果から、非破壊変形に対する選抜が、卵形成における子宮部滞留時間と、卵管における子宮部の割合に影響を与えることが明らかとなり、子宮部における卵殻形成が卵殻強度と大きく関連することが示された。

本研究では、卵殻強度の改良における非破壊変形の有用性、及び経済形質との関連性について、非破壊変形に対する大小2方向への選抜実験を行い検討した。

その結果、非破壊変形の大系統（弱系）と小系統（強系）を作出することに成功し、選抜の効果を確認した。そして破壊強度における間接選抜反応から、卵殻強度の改良効果を明らかにした。また非破壊変形の小方向への選抜が、卵重や産卵率を低下させることが明らかとなった。このような経済形質の低下は、実際の育種改良の場では大きな問題となるため、非破壊変形を卵殻強度の指標とした場合の改良効率について、種々の条件を設定して検討した。その結果非破壊変形は、破壊強度よりは劣るものの、その他の卵殻形質と同程度の改良効率であることを明らかにした。また卵殻は孵化において重要な役割を果たしており、実際の育種でも孵化率は重要な経済形質である。これについても、非破壊変形の小方向への選抜は孵化率を改善し、特に長期保存卵の孵化率を改善することを明らかにした。

以上のことから、卵殻強度の遺伝的改良において、非破壊変形は有用な形質であることが明らかとなった。

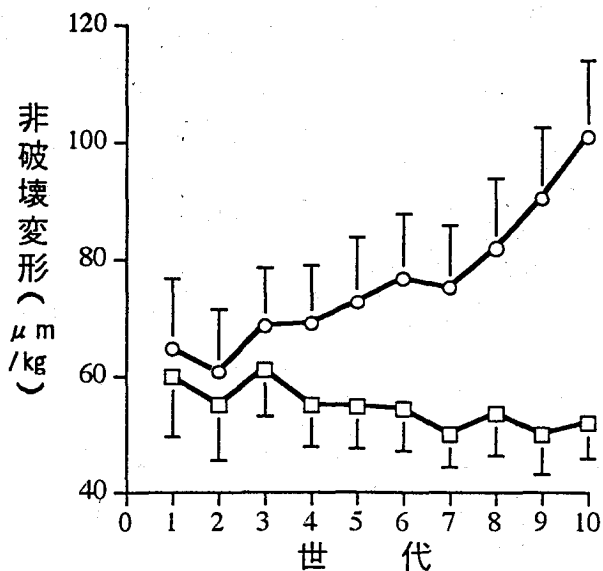


図1. 選抜に伴う強系 (□) 及び弱系 (○) における非破壊変形の推移. 各点は世代毎の平均値を、各縦線はその標準偏差の大きさを表す。

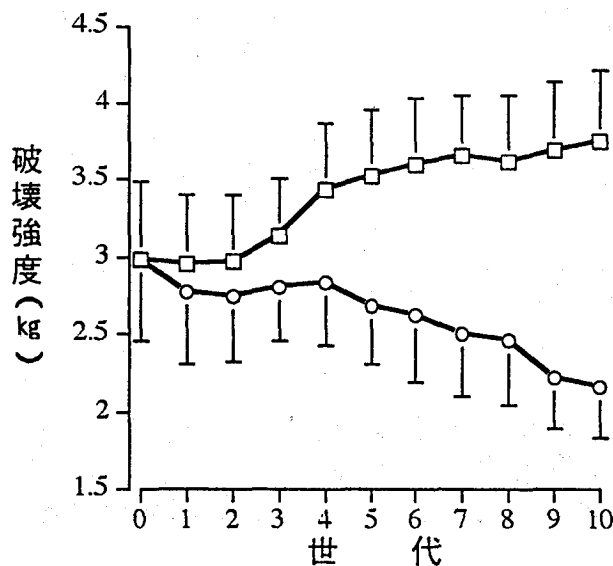


図2. 選抜に伴う強系 (□) 及び弱系 (○) における破壊強度の推移. 各点は世代毎の平均値を、各縦線はその標準偏差の大きさを表す。

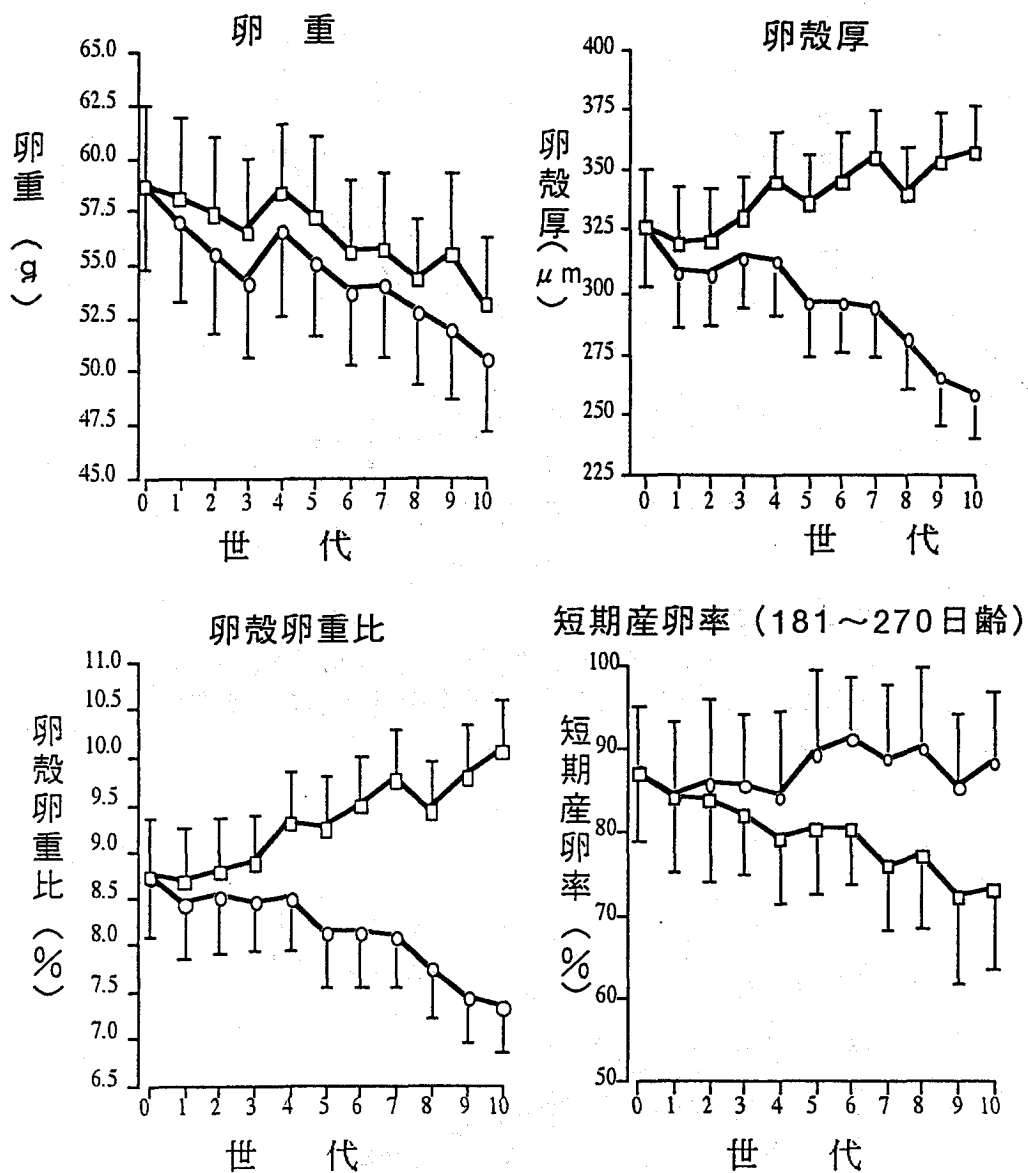


図3 選抜に伴う強系(□)及び弱系(○)における各形質の相関反応。各点は世代毎の平均値を、各縦線はその標準偏差の大きさを表す。



表 1. 破卵及び軟卵の出現状況

世代	系統	正常卵数	破卵数		軟卵数	
			(出現率)		(出現率)	
			個	%	個	%
G 3	強系	5932	41	(0.68)*	77	(1.27)**
	弱系	6056	70	(1.11)	197	(3.12)
G 7	強系	2607	22	(0.83)**	19	(0.72)**
	弱系	2852	106	(3.52)	52	(1.73)

\*: 有意水準 5 % で系統間に有意差あり。

\*\* : 有意水準 1 % で系統間に有意差あり。

表 2. 強系及び弱系の主要形質の遺伝率推定値

形 質	強 系		弱 系	
	遺伝率	遺伝率の 標準誤差	遺伝率	遺伝率の 標準誤差
卵 重	0.60	0.05	0.59	0.05
卵形係数	0.50	0.04	0.54	0.05
卵 殻 厚	0.32	0.04	0.35	0.04
卵 殻 重	0.48	0.04	0.47	0.04
卵殻卵重比	0.29	0.04	0.36	0.04
破壊強度	0.22	0.04	0.32	0.04
非破壊変形	0.24	0.04	0.30	0.04
初産日齡	0.54	0.04	0.41	0.04
産卵率(短)	0.26	0.04	0.19	0.03
産卵率(長)	0.40	0.04	0.29	0.04

G 1 ~ G 10 をプール。

表3. 主要形質間の表型相関及び遺伝相関推定値

形質	卵重	卵形 係数	卵殻厚	卵殻重	卵殻 卵重比	破壊 強度	非破壊 変形	初産 日齢	産卵率 (短)	産卵率 (長)
卵重	.....	-0.21	0.38	0.82	-0.18	-0.00	0.02	0.26	-0.11	-0.09
	.....	0.24	0.35	0.76	-0.06	0.36	-0.10	0.33	-0.15	-0.19
卵形係数	-0.06	.....	-0.22	-0.25	-0.09	0.29	0.03	0.15	0.27	0.22
	0.06	.....	-0.02	0.12	-0.10	0.36	-0.12	0.23	0.25	0.13
卵殻厚	0.19	-0.08	.....	0.83	0.81	0.64	-0.81	0.22	-0.48	-0.41
	0.25	-0.08	.....	0.85	0.87	0.77	-0.86	0.28	-0.35	-0.31
卵殻重	0.66	-0.08	0.80	.....	0.41	0.43	-0.52	0.31	-0.36	-0.32
	0.66	-0.01	0.84	.....	0.60	0.73	-0.68	0.38	-0.31	-0.28
卵殻卵重比	-0.20	-0.04	0.84	0.59	.....	0.77	-0.92	0.10	-0.42	-0.39
	-0.07	-0.07	0.88	0.70	.....	0.67	-0.92	0.16	-0.29	-0.21
破壊強度	0.05	0.29	0.68	0.56	0.67	.....	-0.78	0.25	-0.43	-0.42
	0.17	0.26	0.71	0.66	0.71	.....	-0.71	0.29	-0.34	-0.37
非破壊変形	0.06	-0.05	-0.79	-0.60	-0.85	-0.69	.....	-0.19	0.52	0.48
	-0.07	-0.06	-0.82	-0.70	-0.87	-0.72	.....	-0.19	0.25	0.22
初産日齢	0.14	0.16	0.13	0.18	0.08	0.20	-0.07	.....	-0.09	-0.11
	0.16	0.14	0.10	0.15	0.04	0.11	-0.05	.....	0.06	-0.02
産卵率(短)	-0.12	0.19	-0.12	-0.16	-0.08	-0.11	0.07	-0.12	.....	0.93
	-0.11	0.14	-0.11	-0.13	-0.07	-0.14	0.04	-0.07	.....	0.94
産卵率(長)	-0.10	0.18	-0.13	-0.15	-0.09	-0.09	0.09	-0.06	0.78	.....
	-0.15	0.12	-0.09	-0.13	-0.03	-0.12	0.01	-0.06	0.75	.....

G1~G10を系統毎にプール。 上段が強系、下段が弱系

対角要素の下側は表型相関、上側は遺伝相関

表4. 選抜指数法により、産卵率と卵重を一定とし  
破壊強度を+1σ改良する場合の改良量の予測

形質	所要世代数	形質	所要世代数
情報形質に用いる卵殻形質が1つ		情報形質に用いる卵殻形質が複数	
非破壊変形	8.57	3形質の場合	
卵殻厚	9.19	変形+厚+比	6.77
卵殻卵重比	7.16	変形+厚+破	5.56
破壊強度	5.76	変形+比+破	5.75
		厚+比+破	5.41
情報形質に用いる卵殻形質が複数		4形質の場合	
2形質の場合		変形+厚+比+破	5.34
変形+厚	8.46		
変形+比	7.14		
変形+破	5.76		
厚+比	6.77		
厚+破	5.75		
比+破	5.71		

変形：非破壊変形、厚：卵殻厚、比：卵殻卵重比、破：破壊強度  
情報形質として卵殻形質の他に、卵重、短期産卵率、長期産卵率を用いる。

表5. ウズラ初期胚の3種類の培養方法  
における生存率の推移

培養日数	方法1 (N=51)	方法2 (N=52)	方法3 (N=44)
1	96.1	100.0	100.0
7	84.3	73.1	86.4
14	70.6	63.5	81.8
15	64.7	61.5	81.8
16	54.8	50.0	81.8
17	39.2	25.0	50.0
18	19.6	13.5	15.9
19	17.6	13.5	11.4
孵化率	17.6% (9羽孵化)	13.5% (7羽孵化)	11.4% (5羽孵化)
奇形胚数 (奇形胚出現率)	12 (23.5%)	13 (25.0%)	0 (0.0%)

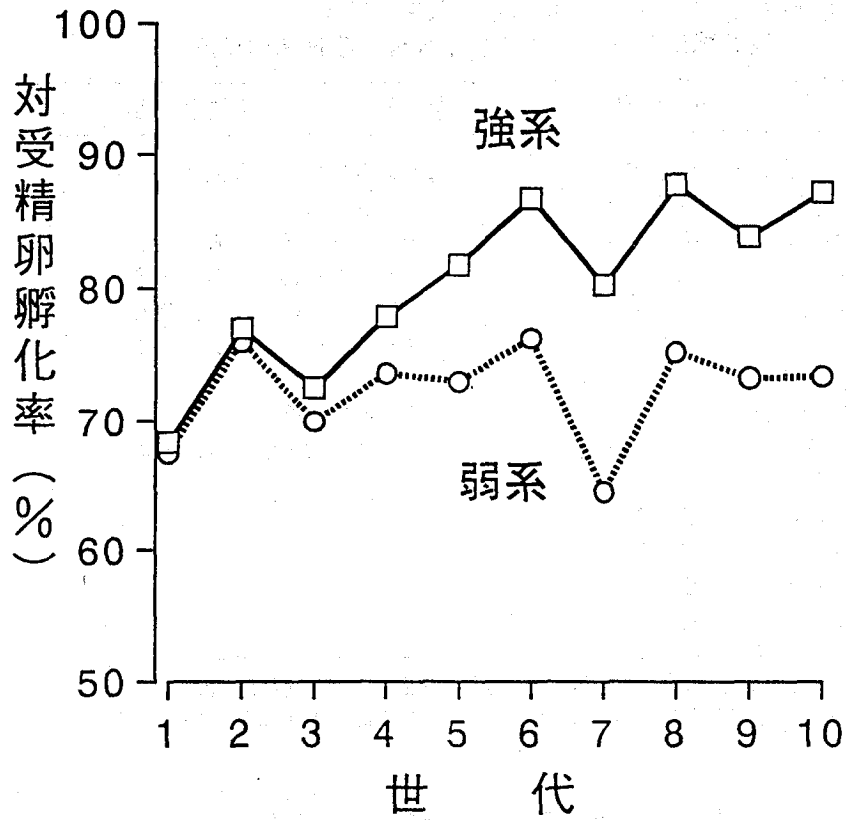


図4 世代の経過に伴う対受精卵  
 孵化率の推移

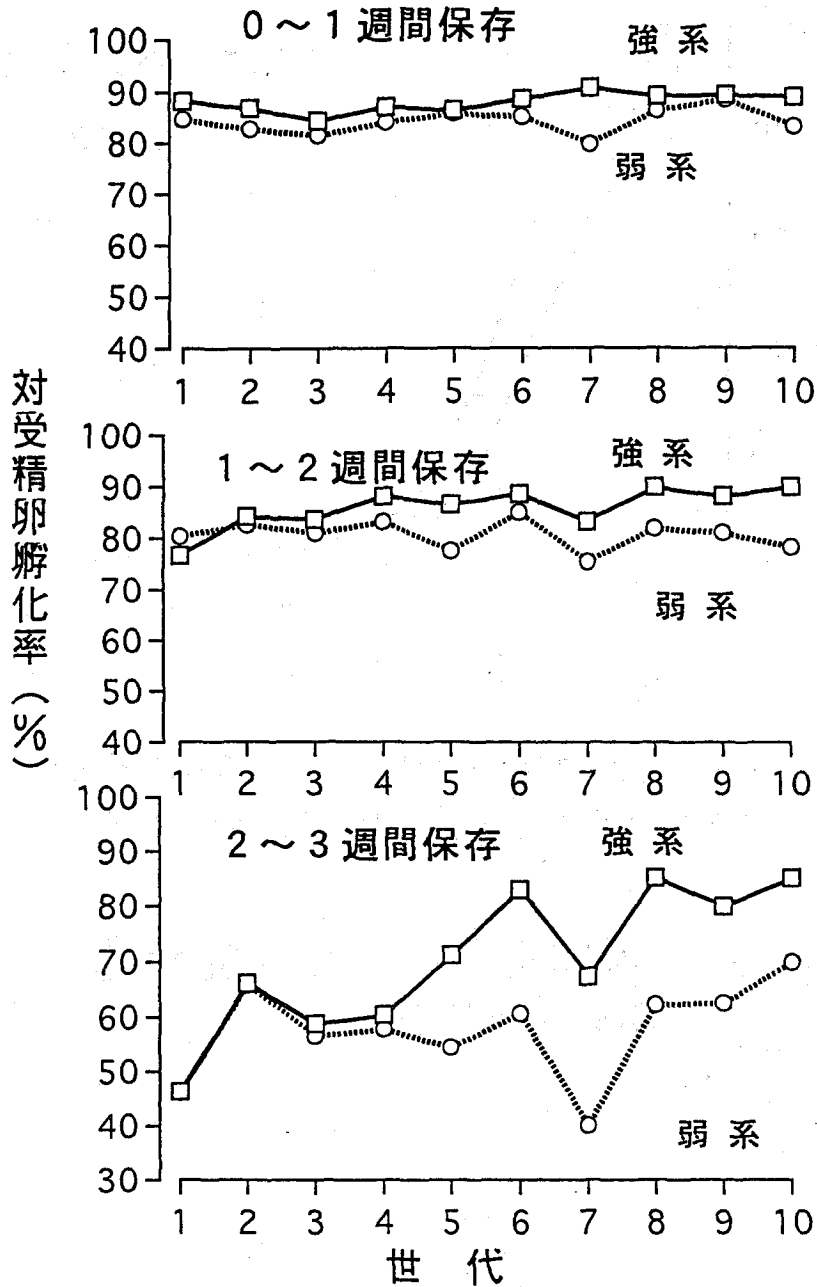
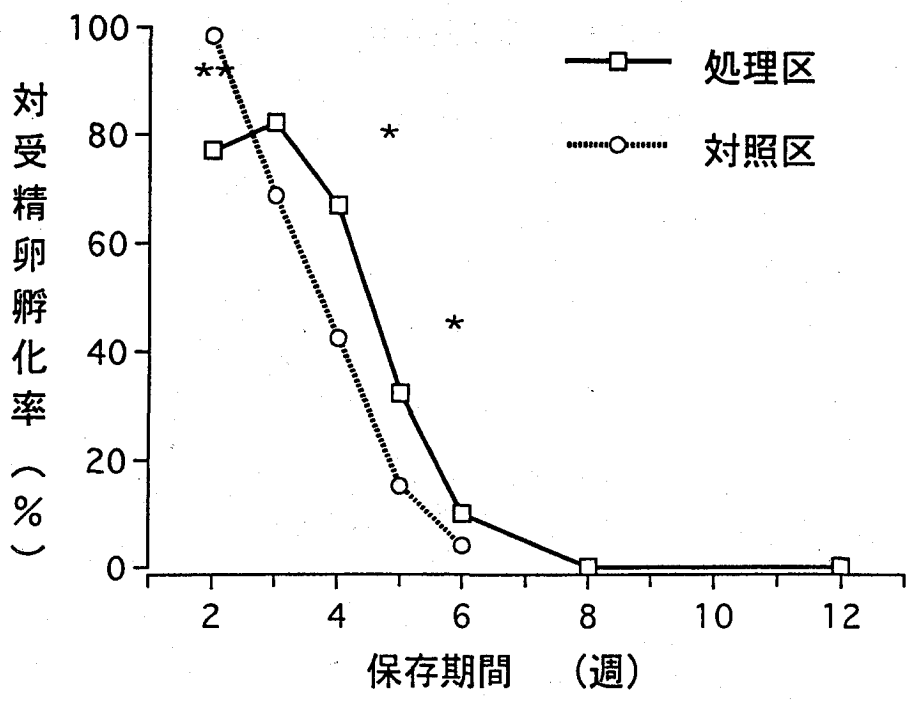


図5 世代の経過に伴う保存期間別の対受精卵孵化率の推移



\* : 5%有意水準で対照区との間で有意差あり。  
 \*\* : 1%有意水準で対照区との間で有意差あり。

図 6. 保存期間に伴う対受精卵  
 孵化率の推移

表6. 放卵から次の排卵までの時間と卵の卵管内通過時間の推定値

	第9世代		第10世代	
	強系	弱系	強系	弱系
	時間:分	時間:分	時間:分	時間:分
放卵から次の 排卵までの時間 (A)	0:26 (48) <sup>1)</sup>	0:18 (59)		
放卵から次の卵の 子宮部到達時間 (B)	5:30 (52)	5:48 (64)	5:25 (29)	5:33 (28)
平均放卵間隔 (C)			27:12 (18)	25:38 (20)
排卵から子宮部到達 までの時間 (B-A)	5:04	5:30		
子宮部滞留時間 (C-B)			21:47	20:05

1) カッコ内の数字は推定に使用した羽数を示す。

表7. 第9世代における卵管各部位の長さとう子官重量  
(平均値±標準偏差)

	強系	弱系	有意差
羽数(羽)	15	15	
体重(g)	1720±115	1658±176	
卵管の長さ			
全長(cm)	50.6±3.3	55.0±3.5	**
膨大部(cm)	31.5±2.7	34.5±2.5	**
峽部(cm)	9.8±1.0	11.6±1.3	**
子宮部(cm)	9.3±0.9	8.8±1.5	
卵管各部位の割合(対全長)			
膨大部(%)	62.2±2.4	62.8±2.2	
峽部(%)	19.3±1.4	21.1±1.8	**
子宮部(%)	18.5±1.8	16.1±2.6	**
子宮重量(g)	14.8±1.8	12.8±1.4	**

\*\* : 有意水準1%で系統間に有意差あり。

## 論文審査の要旨

本論文は、卵殻強度の遺伝的改良における非破壊変形に対する選抜をおこなうために非破壊変形に対して選抜実験をおこない卵殻強度改良における非破壊変形の有用性を検討した研究である。第1章では非破壊変形に対する選抜による卵殻強度の改良の可能性について検討した。すなわち強弱への二方向選抜実験をおこない非破壊変形の選抜反応と破壊強度への影響について検索した。選抜形質である非破壊変形は、強系、弱系ともに選抜に伴い選抜反応が認められた。さらに選抜反応は強弱2系統間で非対称な反応を示すなどの成績から、非破壊変形を指標とした選抜によって卵殻強度の改良が可能であることを明らかにした。第2章では非破壊変形と他の卵殻諸形質及び産卵能力との関連性を検討した。非破壊変形への選抜によって卵殻諸形質及び卵重や産卵能力に相関反応のあること、さらに非破壊変形の小方向への選抜において卵殻厚や卵殻卵重比は増加し卵重や産卵率は低下すること、などを明らかにした。そして非破壊変形に対する選抜が破卵や軟卵の出現率、卵殻強度に影響することを考察した。

第3章では非破壊変形を卵殻強度の指標とした場合の選抜方法を検討した。非破壊変形、破壊強度および卵殻諸形質、産卵能力形質の遺伝率は中程度の値であること、また非破壊変形は遺伝的には卵殻卵重比や卵殻強度殻厚との関係が大きいこと、などを示した。そして他の卵殻諸形質と産卵率との間には負の遺伝相関と推定し強系の方が弱系よりも高いことを明らかにした。一方、非破壊変形および破壊強度と卵重との遺伝相関を見いだした。第4章では卵殻強度と孵化の関係を関東するために卵殻特性を利用しウズラ初期胚をニワトリ卵殻への孵化実験をおこなった。その結果、放卵直後の発生初期の段階からウズラ胚をニワトリ卵殻に孵化培養することに成功した。

第5章では選抜鶏の卵形成における特徴を検索した。第9世代の鶏で推定した子宮部への移行時間は強系の方がわずかに早いことを見いだした。また第10世代の鶏で推定した子宮部滞留時間は、強系の方が長いことを認めた。そしてこれらの成績から卵殻強度と子宮部滞留時間の間に関連のあることを考察した。また卵管形状への選抜の影響について第9世代鶏を用いて検索し卵管長は弱系の鶏の方が長いことを発見した。さらに各部位の卵管全体に対する割合は弱系は強系よりも子宮部の割合は小さいことも見いだした。そしてこれらから強系の鶏の卵管の長さは短いものの卵殻形成に関与する子宮の割合が大きいと結論した。これらの結果から非破壊変形に対する選抜は、卵形成における子宮部滞留時間と卵管における子宮部の割合に影響を与えることを明らかにした。そして子宮部における卵殻形成が卵殻強度と大きく関連することを確認した。これら以上のような本研究では、卵殻強度の改良における非破壊変形の有用性や経済形質との関連性について非破壊変形に対する大小2方向への選抜実験を行い検討したものである。その結果、非破壊変形の大系統(弱系)と小系統(強系)を作出することに成功した。さらに破壊強度における間接選抜反応から卵殻強度の改良効果、また非破壊変形の小方向への選抜から卵重や産卵率を低下させることが明らかにした。このような経済形質の低下は実際の育種改良の場では問題となるために非破壊変形を卵殻強度の指標とした改良効果率について種々の条件を設定して検討した結果、非破壊変形は破壊強度よりは劣るものの、その他の卵殻形質と同程度の改良効率であることを明らかにした。また卵殻は孵化において重要な役割を果たしており実際の育種でも孵化率は重要な経済形質であることを明らかにした。これら非破壊変形の小方向への選抜は、孵化率を改善し、とくに長期保存卵の孵化率を改善することや卵殻強度の遺伝的改良において非破壊変形は有用な形質であることを明らかにした。

これらの知見は動物生産における技術的改良に大きく寄与するとともに応用動物化学研究に進展を与えたものである。よって審査員一同は本論文提出者が博士(農学)の学位を授与される資格に十分な資格を有するものと認定した。