

氏 名	しろ 代 た あき ひこ
授 与 学 位	農 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 37 年 9 月 27 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項
研 究 科 ， 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 農 学 研 究 科 博 士 課 程 （ 水 産 学 専 攻 ）

学 位 論 文 題 目	アカムシの飼育培養
-------------	-----------

指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 松 平 近 義
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 松 平 近 義
	東 北 大 学 教 授 今 井 丈 夫
	東 北 大 学 教 授 土 屋 靖 彦

論文内容要旨

緒 言

養魚に於て、生餌（天然餌料）が魚粉、蚕蛹等の人工乾燥餌料に較べ成長が速かであり、歩留りが高く、給餌にあつては食残した餌料は腐敗分解によつて水質を悪変させる恐れもなく、又栄養成分組成の点からも人工餌料の乾燥の際に生ずる蛋白の変性、Vitaminの欠乏を生ずることのないことは既に知られている。

本論文で取扱つたアカムシはユスリカ科に属する水棲昆虫のセスジユスリカ (*Chironomus dorsalis* Meigen) の幼虫であるが、生餌として数々の利点を具えながらもこれまで利用されているのは専ら高級金魚の飼育に限られ、下水を採してアカムシを採集することが金魚愛好者の最も大きな労働となつており、アカムシなしでは到底高級金魚を飼うことは出来ないとまで言われている。従つて十分な餌料を与えるために平素飼育する金魚の数はアカムシの入手量によつて限定される現状である。しかもアカムシは幼虫の主要な棲息場である下水溝は近年都市衛生の発達に伴い局限されると共にアカムシ資源は著しく減少し極めて高価なものとなつて来た。

従つて生餌の生産に當つては質の問題よりも生産方式、言換えれば量の問題が中心となり、これに生産価格の問題を考慮する必要がある。これ等の点が解決されれば養魚に於ける生餌の適用は現在の養殖形態を著しく改善するであろうことは推測に難くない。

そこで筆者は水産上の立場からアカムシ資源の保護育成の方策を見出すと共に更に進んでアカムシの飼育培養という企業の段階に迄発展させ、これを養魚の天然餌料として安価に且つ多量に供給することを目的としてアカムシの研究に着手した。元来アカムシの幼虫は有機汚泥に生活し、これを栄養源とする稀少の有用生物であつて、日々排泄物される莫大な未利用蛋白の回収という意味からも将来、大量培養出来ると考え、常にこれを念頭に置いて研究を進めた。

アカムシの飼育培養に先だつて最も重要なことは生理、生態学的諸性質と環境因子の解明であつた。しかしながらアカムシの生態特に生活史についての知見は従来文献中に散見されるのみで応用的段階に入るためには尚多くの生物学的な基礎知識が必要であつた。その意味で先づ天然に於ける観察に重点を置きアカムシの生活史を明らかにし、アカムシの飼育培養に必要な生態的環境因子の究明に努力した。

第1部はその結果を取まとめたものであり、第2部は第1部の結果に基いて発展したアカムシの人工採卵と培養である。いずれの生物を問わず人工培養に當つて重要なことは採卵即ち種苗の確保であることは言うまでもないが、特にアカムシについて困難であつたのは普通の水産生物とは異つてその成虫が空中に棲息するということであつた。アカムシ培養の成否はかかつて採卵にあると云つてよく多くの日時と努力を費した結果、採卵に際し環境制御の重要性を見出し漸く人工採卵に成功をおさめた。

アカムシが天然餌料として利用されるのはその幼虫であるので、その飼育培養は本研究の骨子であるが、培養に先だつて重要な研究課題となつたのは幼虫の餌料であつた。アカムシ幼虫の餌料は天然では有機質を含んだ汚泥であるが、人工培養ではこれに優る人工餌料の作製が必要であつた。幸にも松平、代田(1960)*、代田、松平(1961)**は粘土の懸濁液が凝集沈降する際に液中の有機質を凝集沈澱させるといふ性質を利用して有機質を多量に含有する種々の泥土(人工有機泥と呼んでいる)の作製に成功した。筆者はこれらの人工有機泥を用いてアカムシの飼育培養を試みたところ、極めて好成績が得られたので各種有機泥につき、培養の観点から特

* アカムシ用人工有機泥培地について 日本水産学会年會要旨 P25

** 底棲餌料生物の人工有機泥培地の作製について 日本水産学会年會要旨 P19

に生産量、歩留り及び効率について比較検討を加え、更にこれに及ぼす培養環境及び培養法も併せ研究した結果、一応14日1m²当り800g即ち天然の約40倍のアカムシ幼虫の生産を得ることが出来た。最後に将来、企業的发展を考慮して卵及び幼虫の貯蔵法の研究も亦併せ行った。以下、以上の諸点に関し得られた結果中、新たな知見のみを要約すると次の如くである。

第 1 部 生 活 史

仙台市附近に分布するアカムシにつき天然及び実験室内で卵、幼虫、蛹、発生過程及び成虫の生態に関し調査観察を行ない以下の結果を得た。

1. 卵

- (1) 卵塊中の卵粒数は季節によって変化はなく平均510個体である。
- (2) 未受精卵は天然に於ても観察され、気温が低い(13~15°C)時期即ち年間を通じ、羽化初期(4月)及び羽化最終(11月)に近い頃に観察された。
- (3) 卵の発生時期は卵塊の部分によって異り、卵塊の先端部は附着部分(柄状部)より早く孵化する。しかしその差は僅少で3~4時間である。
- (4) 孵化所要時間は高温ほど早く35°Cで24~30時間、20°Cで45~50時間、7°Cでは110~120時間である。5°C以下の温度では発生は停止する。

2. 幼 虫

- (1) 冬期の幼虫は泥土中1cm内外に越冬するので造巢は見られないが、夏期幼虫は造巢穴が明らかであり、まわりに脱糞粒(棲息場の泥土より幾分白味を帯びる)が堆積するので棲息域を肉眼的に判定出来る。
- (2) 幼虫は4回の脱皮を行う。これは頭部脱皮殻(黒色)によって判定出来る。
- (3) 蛹化前幼虫は胸部第2及び第3節が膨大融合し、白色を帯び、体長が減少し始めるので肉眼的に蛹化時期が推定出来る。
- (4) 雌雄の分化は形態的には認められない。

3. 蛹

- (1) 蛹の大きさは5~8mmで幼虫より約4~5mm小さい。しかし蛹の大きさは季節によって異り水温が低い場合には体長が大型化し、水温が高い場合には小型化する傾向が見られる。
- (2) 蛹は雌雄により形態上の差があり、尾部腹面の突起の有(雌)、無(雄)を検鏡することによって判定は容易である。又体長体巾も亦雌雄によって異り、体長、体巾の大きなものを雌、小さなものを雄とみなすと平均95%(92~99%)の確率で肉眼的に雌雄の判定が可能である。

4. 生 態

- (1) 従来水産生物の世代を判定する方法として天然の体長組成の mode から推定する方法が一般に用いられているが、アカムシの場合には群衆体が単一でなく、この方法では判定が容易でなかったため幼虫の体長組成とこれに占める蛹化前幼虫の割合を併せ測定し世代を判定する方法をとった(第1図)(第2図)。
- (2) その結果、仙台市附近に於ては最終羽化(10月中旬)、産卵によって孵化した群(小型)とその前の羽化産卵による幼虫群(大型)の二群が越冬し翌春その大型幼虫が4月下旬に第1回の羽化、産卵を行い小型群が20~25日遅れて第2回の羽化産卵を行う。従ってこの二群が互に錯綜しながら夫々成長し世代を繰返すので、年間の世代数は一群は5世代、他群は4世代であり、羽化が世代の始めに行われるものとするれば、羽化回数はこの地区では二群の世代を合せた計9回とこれに2つの越冬世代の2回を加えて年間11回であった。
- (3) 年間の水温と気温の観測結果と対比すると越冬は水温8~9°C、気温約10°Cに於て始まり、羽化の最低水温は13~14°C、気温15~16°Cであり世代に要する最短日数は平均水温25°C

(19~27.5°C), 平均気温27°Cで22~25日で最長日数は平均水温 15°C, 平均気温 18°Cで39~42日であることがわかった(第3図).

第 2 部 アカムシの飼育培養

I 人工採卵

Chironomus dorsalis Meigen の交尾は広所交尾であり実験室内程度の空間では受精卵を得ることは困難であるといわれているが(Gibson 1945), 筆者は環境と生物学的条件の制御によって受精卵が得られるのではないかと考え, 先ず空間, 気温, 風, 湿度, 光及び餌料条件と交尾及び産卵との関係について種々の予備実験を重ねた結果1.0×1.0×1.0mの空間と湿度75%の条件で受精率0.3%という極めて僅少なから受精卵を得ることに始めて成功した(第1表). そこで更に産卵及び受精率を向上させるために(第4図)の如き環境制御装置(1.0×1.0×2.0m=2m³)を考案して交尾及び産卵に及ぼす環境条件と生物学的条件の影響を吟味検討した. 得られた. 結果は次の如くである.

1. 環境制御と産卵

- (1) 湿度 交尾の必須条件で湿度90%以上で80~85%の受精率が得られるが, 80%以下では急激に受精率は低下して20%以下となる.
- (2) 気温 23~26°Cが最適で20°C以下及び28°C以上では受精率は急激に低下する.
- (3) 照明 湿度に次いで主要な交尾環境要因で間歇照明を必要とする. 光源は採卵箱の上方1ヶ所からの照明とし, 連続照明では受精率10~20%, 消灯した場合は受精率0で, 何れも満足な結果は得られない. 間歇照明の最良条件は24時間中, 4回の断続照明とし30分消灯, 5時間半の間歇照明である. この際の受精率は80%以上である. 産卵は照明時に開始され照明後2時間以内に全産卵数の60%が産卵する.

2. 受精率

- (1) 個体密度 2,000個体/m³以上では80%以上の受精卵が得られるが 500個体/m³以下では受精率は著しく減少するが, 産卵数は個体密度の増加に比例して増大する.
- (2) 交尾と産卵 羽化後2~3日後に交尾し直ちに産卵する. 密度一定で羽化させた場合, 受精卵数は時に雄の羽化数を上廻る数値を示すことから雄は1個体以上の雌と交尾し得ると推定されるが, 成虫の雌は一世代(3~5日間の寿命)1回の産卵で1卵塊を産出するものと見られる.
- (3) 雌雄比 生物学的重要な条件の一つであり, 実験の結果, 雌雄は同数或は雌を少々上廻ることが最適条件である. 雌雄の幼虫が蛹化するまでに要する日数は雄は雌よりも短かく 20°Cで約1日半, 25°Cでは2日半の差があり, 雄は雌より小さな体長で蛹化するので採卵中次第に雌に偏する結果となる. 従ってこれを防ぐために雄の補充が必要であることがわかった(第5図)(第6図)(第7図).

以上述べた交尾産卵に関する環境並びに生物学的諸条件の最良の組合せによって成虫密度4,000個体/m³に於て1日最高750卵塊, 平均200卵塊の生産を15日間持続することが出来た. 尚この間の採卵総数は140万卵粒でこれはアカムシ幼虫約8.4kg(平均体長12mm, 生体重6kg)の生産に必要とされる卵粒数である.

II 幼虫の飼育管理

1. 3mm以上の幼虫の飼育培養

培地として(a)寒天一牛乳培地, (b)粘土一牛乳培地(人工有機泥), (c)粘土一桑葉培地(人工有機泥)及び(d)下水泥(天然有機泥), 培地の施用法として(e)粘土一牛乳培地を砂上に敷いた場合, (f)粘土一牛乳培地を寒天に封込んだ場合, 以上六者について培地の適否を比較検討した.

- (1) 止水培養 細菌の問題は当然考慮すべき点であるが今後の検討にまつとして一応ここでは

流水実験に較べ操作が容易であり、種々の問題点を検討する上に好適であったので止水条件下で各種培地の添加量を変えて敷き幼虫の接種量、歩留り、生産量及び効率を調べると共に幼虫の接種密度を一定(250個体/100cm²)として培地の適否の比較を行った。

その結果、粘土基質は寒天基質に較べ栄養源添加量を約4倍(Org-N 30mg/100cm²)増加しても生産量の増大がみられた。又施用法についてみると例えば同じ粘土-牛乳培地でも容器にじかに敷いた場合と砂土に敷いた場合とでは砂上に敷いた方がよい結果を示し、Org-N25mg/100cm²の培地添加量では幼虫の生体重量300mg、50mg/100cm²で約200mgの生産量の相違がみられた。

生産量を高めるためには多量の栄養源が必要であり同時に又多量の接種個体を要するが、結局培地の良否はこの止水培養では培地の溶出が少なく保有力の大きなものがよく、その栄養的差より寧ろ培養条件、特に培地の変性と関係した酸素量及びpHの環境条件によって生産が制限されることがわかり次の流水法に発展した。

- (2) 流水培養 流水培養に当って生産量を支配する重要な条件は造巢率との関係から流速0.5m/sec以下とし、流量は酸素条件即ち個体と培地の酸素消費(溶存酸素量は5cc/L以上を必要としこれ以下に低下すると生産量は著しく減少し、3cc/Lでは5cc/L以上の場合の約7%に迄低下する)によって決定されるので水の流れは均一に分布することが必要である。実験結果によると粘土牛乳培地で8.1g/100cm²の生産を挙げるためには酸素量6.0cc/Lの水を7.2l/h流すことが必要である(第2表)。
- (3) 飼育培養と下水溝に於ける現場生産量の比較 人工有機泥を用いた流水実験結果を1m³当りに換算すると生体重量800gとなり、この値を天然の下水溝に於ける現場量と比較してみると遙かに高い生産を得たことになる。即ち下水溝壁に近い棲息域の平均現場量200g/m²に対比しては4倍、下水溝の最高現場量270g/m²に較べては約3倍高い値を得た。又下水溝全体としての平均生産量は1m³当り20gであるから飼育培養によって得られた生産量はこの約40倍となる。

2. 3mm以下の幼虫の飼育培養

卵より孵化した体長3mmに至る迄の幼虫は環境変化に対し抵抗が弱く、そのまま培養する時は著しい歩減りを生じるので特殊の管理が必要であった。実験の結果得られた最良の管理法は次の如くである。

粘土-桑葉泥100~200cc(約Org-N100mg)に水を加えて1Lとし、これを2L三角フラスコに入れ孵化直前の卵塊30個体(15,000卵粒)を接種し、通気装置を用いて毎分800~1,000cm³の通気を行いながら20°Cで飼育すると、卵は1日以内に全部孵化し4日後には体長3.3mmに成長し、歩留100%、15,000個体/Lの幼虫が得られた。

Ⅲ 生産を支配する生物学的諸要素と環境

以上の如く飼育培養によって天然を遙かに上廻る生産を得ることが出来たが、更に生産を増大する要因の解析を行った。

- (1) 造巢 生産量を増すためには、接種密度の増大を必要とし、培地に接種された幼虫は造巢するが、これは培養環境によって著しく影響される。造巢は培地の砂泥粒子の大きさと関係し、直径0.25mm以上の粒子では24時間後の造巢率(粒径0.25mm以下では24時間後の造巢率100%)は減少する。造巢速度は温度の上昇により早まり35°C、1時間が限度である。又照度と関係し暗所より明処(200lux以上)の方が早い、光質とは無関係である。更に造巢速度は低酸素量に於て減じ餌料の添加によって増大する。流速は造巢速度並びに造巢率(24時間)に著しく影響し0.5m/sec以上の流速では造巢率は24%以下となる。
- (2) pH 培地のpHは6~8が最適である。
- (3) 温度 最適温度は20~25°Cである。

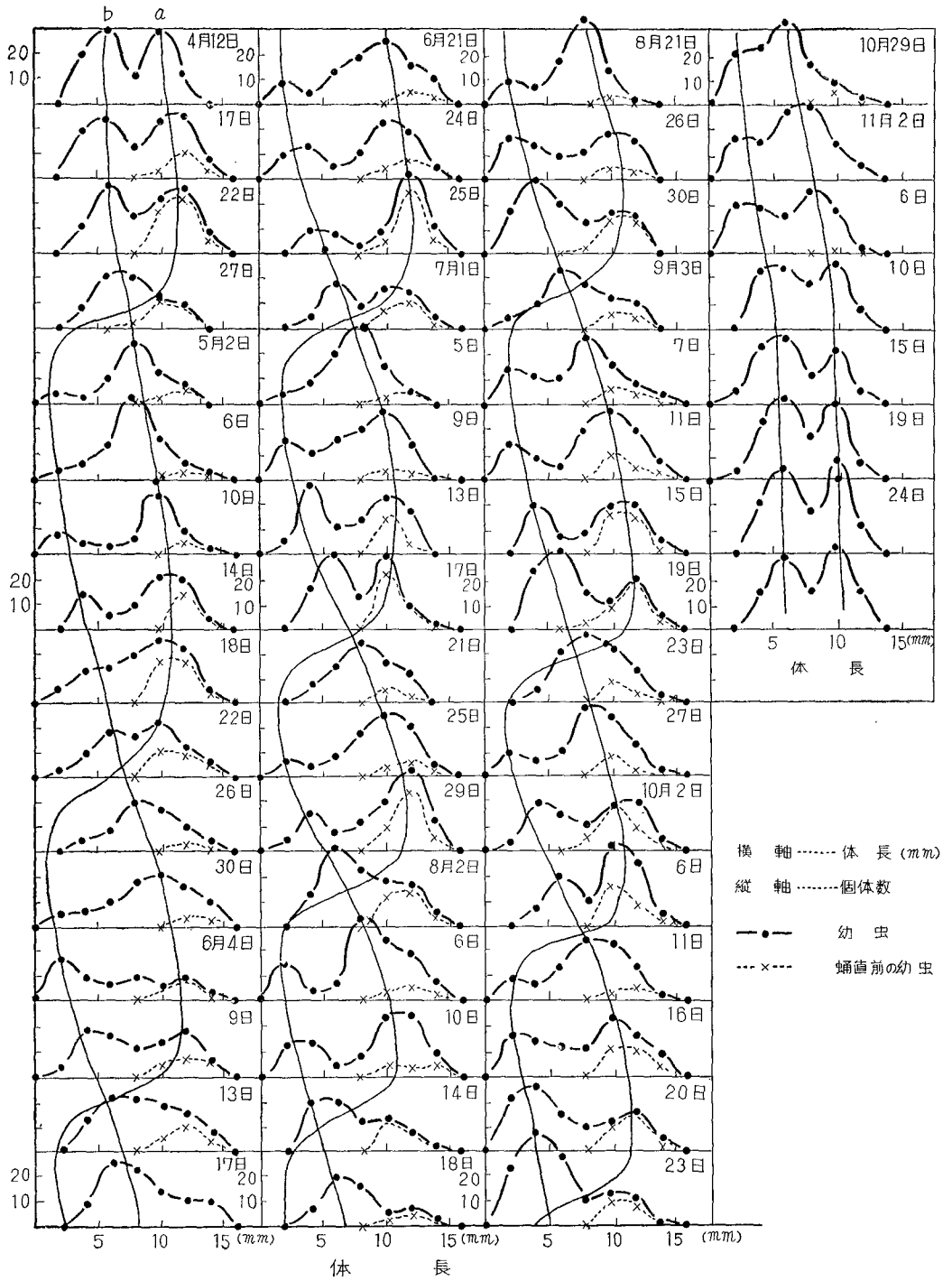
- (4) 呼吸 幼虫の酸素消費量は温度が30°C以上及び10°C以下では急激に低下する。体長11mm, 20°Cでは酸素消費量は333cc/h/kg, 25°Cで417cc/h/kgである。実用に当ってはこの数値を考慮して酸素条件を満足する流量の調節が必要であり(第8図)の如き飼育装置を作製し生産を得つつある。

IV 種苗の保存

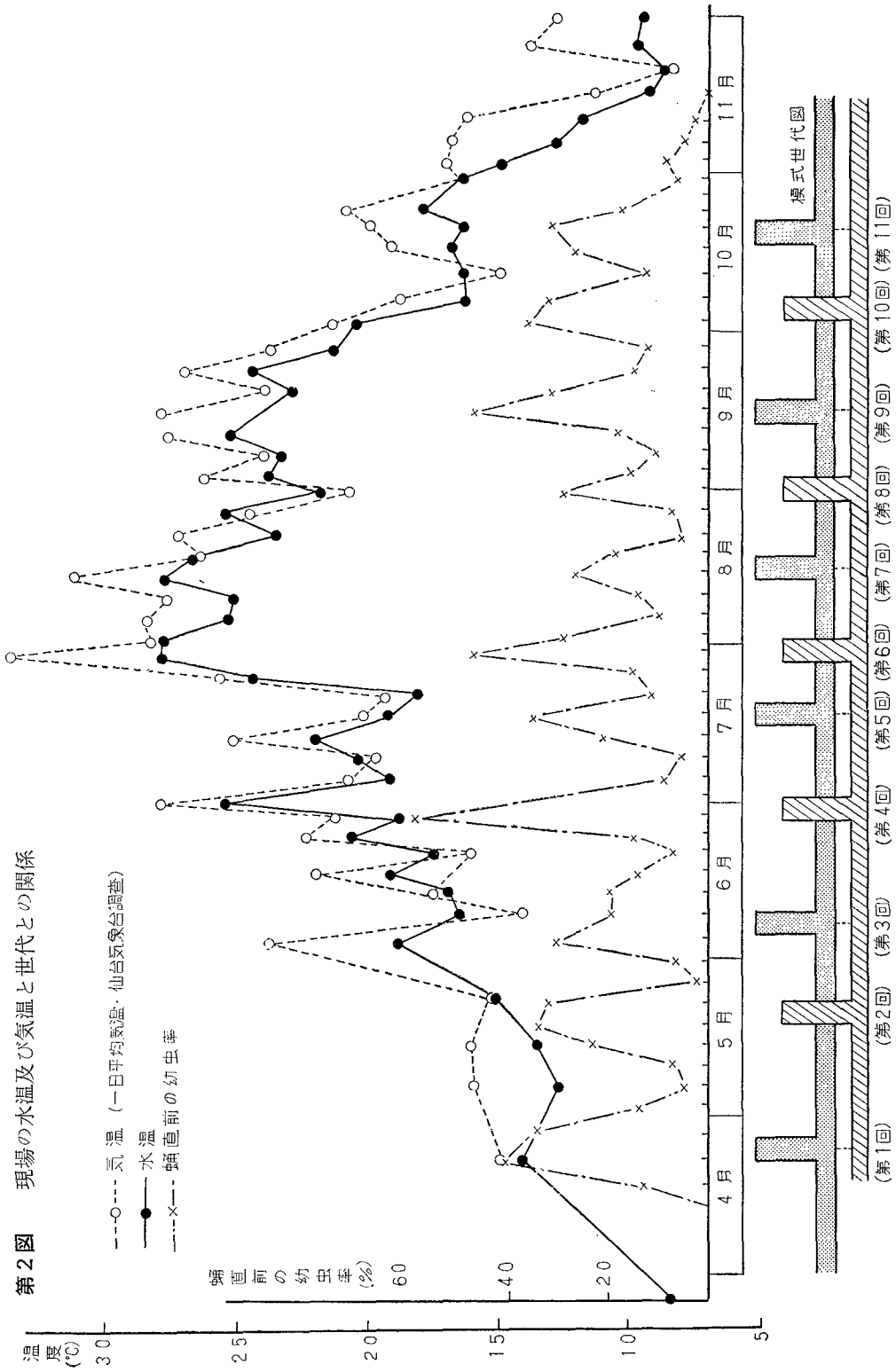
将来企業の発展を考慮した場合、上述の大量採卵及び幼虫の飼育によって得られた卵塊及び幼虫は季節にかかわらず常時使用出来る様に貯蔵に関する研究を行い次の如き結果を得た。

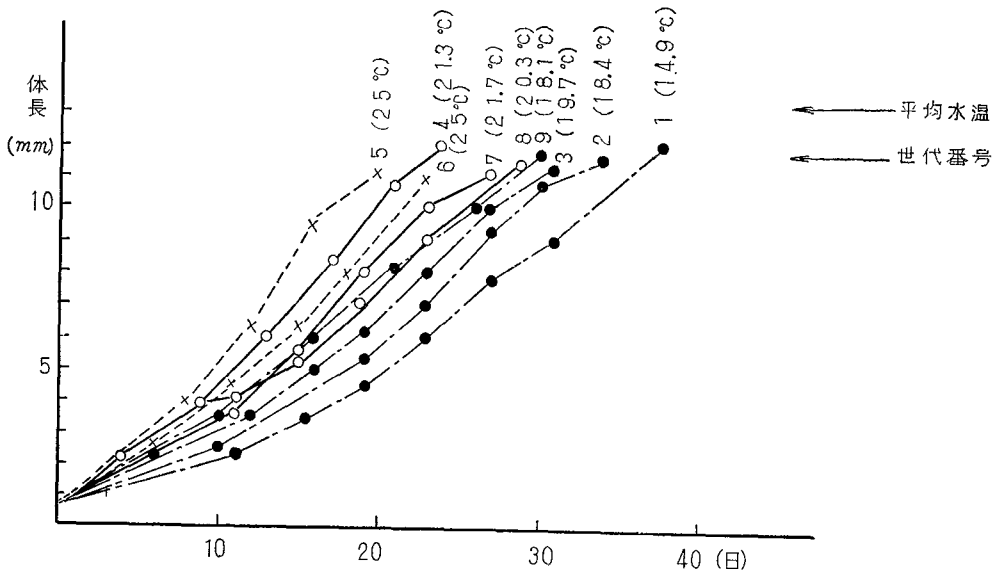
- (1) 種苗の撰別 採集した幼虫は各メツシユのサラン網を通すことによって自由に各体長群に撰別することが出来る。実用に供する約9.5mm以上の幼虫は25メツシユの網目を使用する。
- (2) 卵の保存 先ず発生の抑制が必要であり、そのため発生の進まない産卵後まもない卵を検鏡によって撰別し低温処理(2~5°C)を行う。低温処理中細菌に害される場合があるので抗生物質の使用により貯蔵日数を延ばすことが出来る。即ちストレプトマイシンの適濃度5mg/ccで14~20日、ペニシリンの場合には2000単位/ccの濃度で12~18日間卵を保存することが出来る。
- (3) 幼虫の保存 貯蔵に用いる用水は塩分のない方がよく、塩分抵抗力はCl 5%までである。夏期幼虫を20°C及び25°Cの室温で貯蔵した場合の体重減耗率は貯蔵温度が高いほど又体長が小さい程、体重減耗率が大きく平均して30%の減耗率(7日間)を示した。
- (4) 貯蔵条件と貯蔵日数 幼虫の各種貯蔵法を考慮した結果、砂中に幼虫を入れた場合成績がよく低温(5°C)及び流水下で40日間貯蔵することが出来た。又その際の生体重量減耗率は僅か5%であった。

第1図 天然に於ける世代の判定



第2図 現場の水温及び気温と世代との関係





第3図 各世代に於ける成長

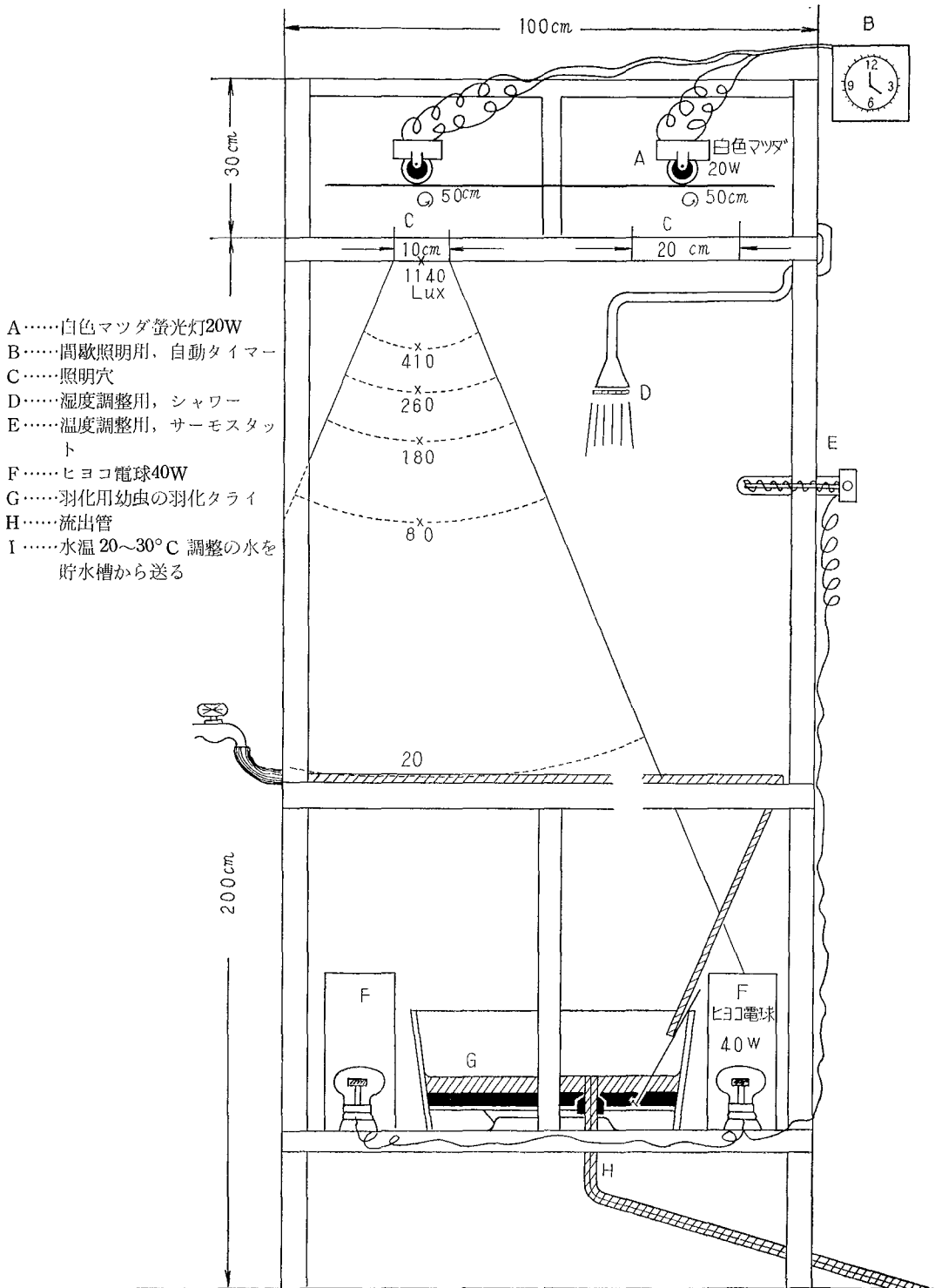
※ No.	孵化から化までに要する日数	同左(日数)	水温 (°C)		平均水温 (°C)	水温差 (°C)	成長速度順位
			最低	最高			
1	4月29日～6月8日	39～42	12.6	18.6	14.9	6.0	9
2	5月25日～6月30日	36～38	15.7	23.0	18.4	7.3	8
3	6月12日～7月16日	33～35	16.8	25.2	19.7	8.4	7
4	4月4日～7月29日	26～27	17.8	27.5	21.3	9.7	2
5	7月22日～8月14日	22～25	19.0	27.5	25.0	8.5	1
6	8月3日～8月30日	24～25	21.3	37.3	25.0	6.0	3
7	8月19日～9月15日	27～29	21.3	27.6	21.7	6.3	4
8	9月4日～10月4日	31～34	20.0	27.6	20.3	7.6	5
9	9月19日～10月20日	33～35	15.8	22.4	18.1	6.6	6

※ 世代

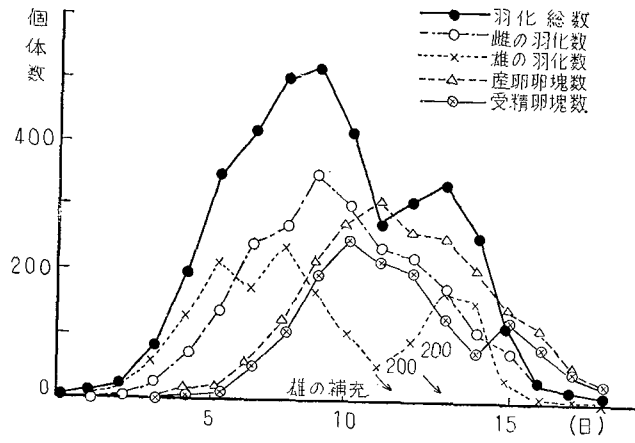
第1表 空間1 m³と湿度75%の場合の受精率

	雌の羽化数	雄の羽化数	産卵数	産卵率(%)	受精卵数	受精率(%)
1	400	400	301	75	1	0.3
2	400	400	311	78	0	0
3	400	400	310	78	3	1
4	400	400	283	70	0	0

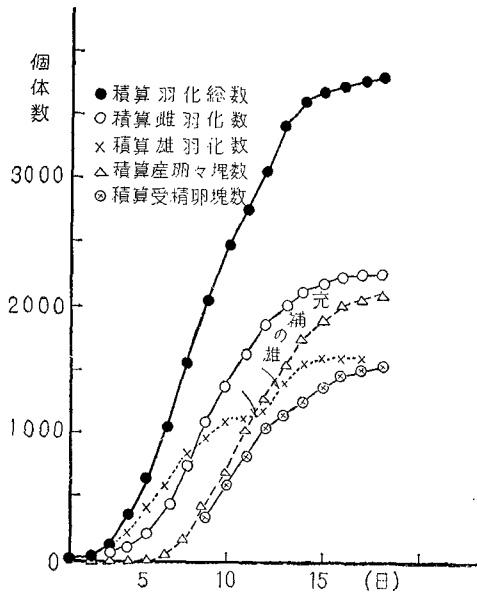
第4図 採卵装置



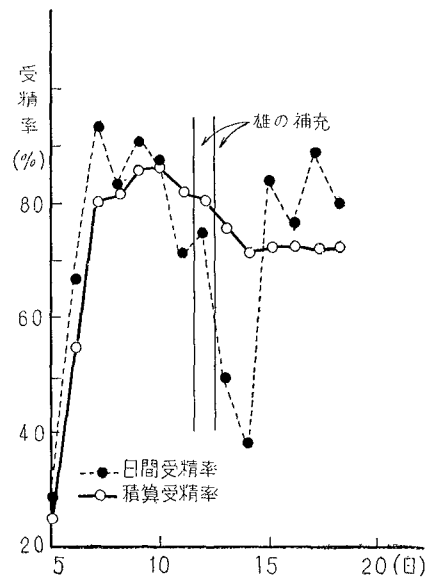
第5図 雄を補充した場合の産卵(環境制御)



第6図 雄を補充した場合の産卵



第7図 雄を補充した場合の日間及び積算受精率

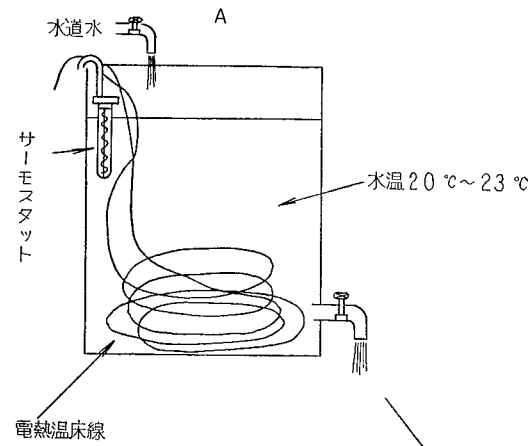


第2表 流量と生産量

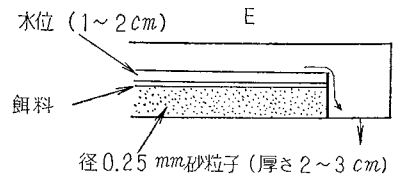
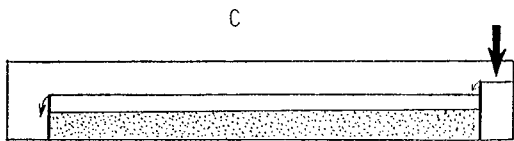
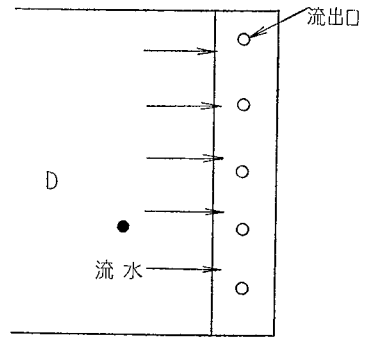
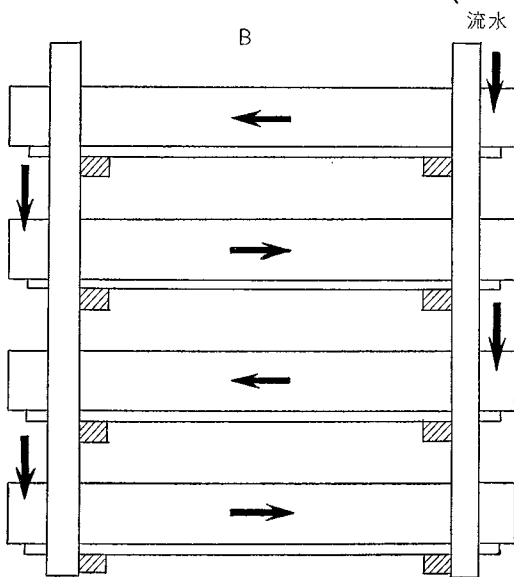
実験 No.	敷砂の厚 さ (cm)	接種個体 生存数	歩留り (%)	平均体長 (mm)	密度 (個体/ cm ²)	* 生産量(14日間)		流量 (ℓ/h)	砂表面上、濾過水中 の酸素含 量 (cc/ℓ)		生産順位	
						総重量 (mg)	mg/cm ²		g/100cm ²			
3	1	300	19	11.8	1.0	109	5.8	0.6	1.26	4.42	2.93	8
4	1	200	49	9.0	5.2	257	13.5	1.4	1.80	4.75	3.36	7
5	1	100	72	10.4	3.8	284	15.0	1.5	2.82	4.68	3.81	5
6	1	200	80	10.0	8.5	564	30.0	3.0	3.18	4.75	4.11	4
7	2	400	74	11.5	15.2	1540	81.4	8.1	7.20	5.35	4.71	1
8	2	200	67	11.3	7.1	665	35.3	3.5	3.00	5.04	4.29	3
9	2	100	67	11.1	3.6	320	17.0	1.7	2.52	4.86	3.95	6
10	2	300	58	11.3	9.3	867	45.8	4.6	4.26	4.90	4.35	2

* 14日間

第8図 幼虫飼育装置



- A……貯水槽（水温の保温は電熱温床線或は太陽熱利用）
- B……幼虫飼育装置
- C……飼育槽の側面図
- D……飼育槽の平面図
- E……飼育槽一端の側面図



審査結果要旨

アカムシはユスリカの幼虫で、特に赤色をおびたものに限っていわれる俗称であるが、熱帯魚、金魚飼育に使われるセスジユスリカや釣餌として使われるオホユスリカの幼虫等が含まれる。

本論文では本邦に広く分布する前者 *Chironomus doralis* Meigen を取扱った。この種の幼虫は都市下水の入る溝や、下水処理場の撒布床面上に棲息し、有機性汚物の浄化に与って大きな力がある。一方諏訪湖では魚族資源を支える天然餌料の大半がアカムシであることが報告されており、内水面漁業にも深い関連性をもっている。

又近年養魚面で早期成長が望まれ、多回投餌の方式が採用されると共にアカムシ、糸ミミズ等の生餌が現在最も速い養殖魚の成長を支えるものとして見直されてきた。人工餌料の改善はいうに及ばず、此等天然餌料の生産も将来の餌料生産の方向といわれるようになってきた。

そこで本論文はアカムシの生態を知ると共にその至適成長条件を明らかにし、人工飼育培養法を確立させたものである。主な結果の要は次の如くである。

仙台市附近に分布するアカムシにつき天然並びに実験室内で卵、幼虫、蛹及び成虫の生態に関し調査観察を行ない、巣穴、糞粒等から幼虫の棲息域を明らかにした。幼虫は4回の脱皮後、体長が減少し始め蛹化が行なわれる。蛹の大きさは5~8mmで、尾部腹面突起の有無並びに体長差によって雌雄を判定し得た。最終羽化後水温8~9°Cの10月中旬より大型・小型の二群が越冬し、翌春大型幼虫が4月下旬に第1回の羽化、産卵を行ない小型群が20~25日遅れて第2回の羽化、産卵を行なう。この二群が互いに錯綜しながら夫々成長し世代を繰返すので年間の世代数は一群は5世代他群は4世代で計9世代である。

セスジユスリカの交尾は広所交尾であり実験室内程度の空間では受精卵を得ることは不可能であるといわれていた。著者は環境と生物学的条件を制御することによって受精卵を得ることが可能ではないかと考え、空間、気温、風、湿度、光及び餌料条件と交尾及び産卵との関係を調べ、環境制御装置を考案し、成虫密度4000個体/m³において1日最高750卵塊、平均200卵塊の生産を15日間持続することができた。

アカムシ幼虫の餌料は天然では有機質を含んだ汚泥であるので、粘土の懸濁液が凝集沈降する際に液中の有機質を凝集沈澱させるという性質を利用して種々の人工有機泥を作製し、天然泥と対比しながら止水及び流水条件下で幼虫の飼育培養を試み、歩留、成長速度、生産量及び効率等につき比較検討を行なった。更に環境の生産に及ぼす影響を研究し流速、流量と酸素含量の重要性を指摘し、1m²当り生体重量800gを生産することに成功した。又低温と抗生物質を使用して40日間幼虫を保存することができた。

以上著者の研究で得られた新知見は水産生物学に寄与するところが大きく、採卵並びに培養に関する成果は実用上単に養魚用天然餌料生産に止まらず、日々排泄される都市排泄物の莫大な未利用蛋白の回収という意味からも将来の発展が予想され、その業績は農学博士の学位を授与するに充分であると認める。