

活魚輸送技術研究 - VII

アユ活魚輸送における炭酸ガス除法の効果 及びその方法について※

※※

中 賢治・山尾隼三

びわ湖産アユ稚魚は、毎年約300 tonが活魚で全国へ出荷されており、全国需要の約70%を占めている。アユ稚魚の活魚輸送は、大型水槽を使用して、水温を氷で調節しながら、10℃～15℃に保ち、酸素ガス分散器を通して水中に放出させて行なわれている。この方式では、長距離輸送では輸送水量の4～6%の魚の量が安全な輸送量である。養殖されたアユ成魚の場合でも、近距離輸送で輸送水量の15%位までが輸送の限界である。活魚輸送をより高密度にする方法について種々の方法を試みてきたが、活魚輸送中において、炭酸ガスが高密度輸送を妨げていると思われるに至った。それは、高密度輸送の予備試験（滋賀水試、1966）、その後の実験から、水中の過剰の溶存酸素量、輸送中に蓄積する $\text{NH}_4\text{-N}$ 量が、24時間程度の輸送時間では、これらによる弊害が全んど認められない事、溶存酸素量は斃死時には、自然水中以上のものであることが多い、活魚輸送中は、全んどの場合 PH が低下してゆく事（中、岩崎、1967）等によっている。炭酸ガスの魚血への影響はRoot氏効果で知られている様に、炭酸ガス張力が増加すると、溶存酸素量が多くても窒息状態になり得るという事である。BLACK他¹⁾が斃死時の酸素張力と炭酸ガス張力について、炭酸ガス張力が増加すると、酸素張力が高くても斃死することを示しており、Basu²⁾は魚類の呼吸への酸素と炭酸ガスについて、窒息に至る水中酸素含量は炭酸ガスが増加すると共に増加することを示している。生理学的に炭酸ガスによる呼吸、血液等への影響は種々のべられており、溶存炭酸ガスの増加が必然的に PH の低下をきたすため、(Tillmanの式)輸送魚の環境条件は一層悪化すると考えられるが、活魚輸送への応用は、炭酸ガス除去を目的とした曝気によるニジマス輸送の例(山崎¹²⁾)を除いて全んど為されていない。これは一般に、活魚輸送水が比較的低温であることもあって、輸送水からの炭酸ガス除去が熱、曝気では低温保持の面で難点があり、アルカリ薬剤の投入は薬害が多分に予想されるし、イオン交換樹脂では除去しにくい(垣花・他³⁾)等の困難な面が多いのと、酸素量について考慮されている程、炭酸ガスについて注意が払われていない面もある。筆者らは、密閉容器による輸送実験で、微孔性特殊半透膜(商品名 ユミクロン)を使用する事によって、かなりの炭酸ガ

※ 1971年1月、全国湖沼河川養殖研究会第7回鮎部会研究発表資料に加筆した。

※※ 湯浅電池株式会社中央研究所

スを吸収除去できる事と、それによって、高密度輸送、また従来の活魚輸送密度であれば、2倍以上の長時間輸送が可能である事が判ったので報告する。

本研究に際し、有益な助言と文献の便宜をいたゞいた川本信之博士に深謝の意を表す。なお本研究は滋賀県水産試験場と湯浅電池株式会社との共同研究である。

実 験 と 方 法

供 試 魚

アユ (*Plecoglossus altivelis* T. et S.) 稚魚 (コアユ) は、滋賀県今津町湖岸および安曇川で漁獲されたものを当场平田試験池 (湧水 13.9~14.6℃) に輸送し、給餌蓄養したものである。実験に際しては、無給餌蓄養を2日行ない、さらに実験室で実験水温に順致するため無給餌で約20時間飼育した後、正常魚のみを用いた。平均 T.L. 8.9 cm, 平均 B.W. 3.8 g 特殊半透膜 (ユミクロン)

品番 Y 1 0 1, ポリ塩化ビニール膜, 見掛厚 0.09 mm, 透気度, 空気 0.2 cc/min/cm² (25℃, 圧水銀柱 70 cm), 平均孔直径 0.6 μ, 孔数 3×10⁷/cm², 耐熱温度 70℃, 抗張力 (kg/15mm) 湿タテ 2.7, ヨコ 3.2, 発水性加工

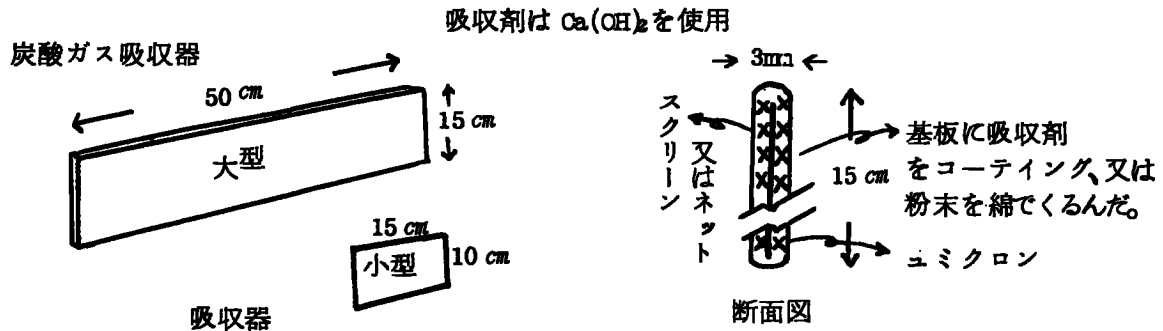


図 1

実 験 用 水

表 1 実験容器に注入した時の水質 (平均値, 原水はびわ湖より揚水ろ過)

項 目	濃 度	項 目	濃 度	項 目	濃 度
水 温	9.7 °C	pH	7.17	D.O	10.68 cc/ℓ
溶存炭酸ガス	1.65 mg/ℓ	NH ₄ -N	0.08 ppm		

実 験 容 器

ポリエチレン袋 厚 0.8 mm × 巾 50 cm × 長 × 90 cm, 0.6 × 28 × 45

ガラス瓶 10 ℓ, 2 ℓ 下口付広口瓶

水質分析項目

水 温	自記水温計，棒状水銀温度計を併用
溶 存 酸 素	ウインクラ法，又はD.Oメーター
NH ₄ - N	ネスラー法で発色したものを分光々度計で測定
pH	ガラス電極pHメータ
溶存炭酸ガス	P.P 酸度より総酸度を求めて，これより算出，又は西条 ⁴⁾ の方法に

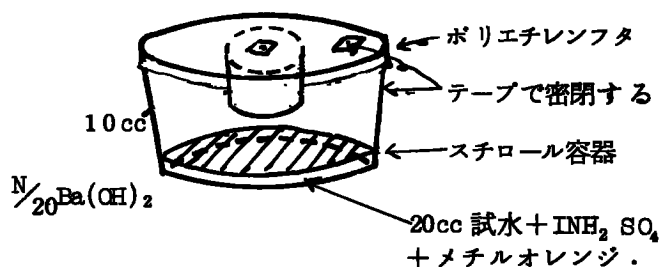


図 - 2

よって図-2の様なユニットに試水を注入し，48時間後に1/40N Hclで滴定する。指示薬はチモールブルーとフェノールフタレンの混合指示薬を用いた。試水中の全炭酸量をこれで求め，猿橋⁵⁾の淡水中の炭酸物質モル百分率表を用いて，水温とpHよりCO₂ + H₂CO₃の濃度を求め，CO₂mg/lを算出した。

実験魚の判定

正常魚	動きが活発で，遊泳状態が正常な魚
衰弱魚	動きが不活発で，手で簡単に捕えられるもの，横転しているが呼吸している魚又は狂奔しているもの。この段階のものは輸送実験後斃死するものが多い。
斃死魚	鰓運動の停止しているものを含めた死魚

実験方法

ポリエチレン袋又はガラス瓶(2l, 10l)に炭酸ガス吸収器を装置した。実用実験では図-3の形式でダンボール箱に収納したが，実験室内では，図-4のように，吸収器を装着した容器を水温調節した大型水槽(200l)内に浮かべて各容器を固定した。実験室で約20時間の水温順致を終えたコアユを，炭酸ガス吸収器を装着し，所定量を入れたガラス瓶，

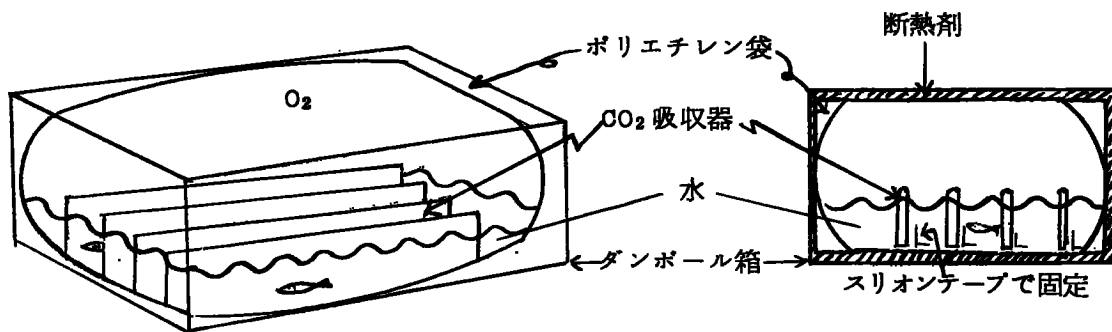


図 - 3

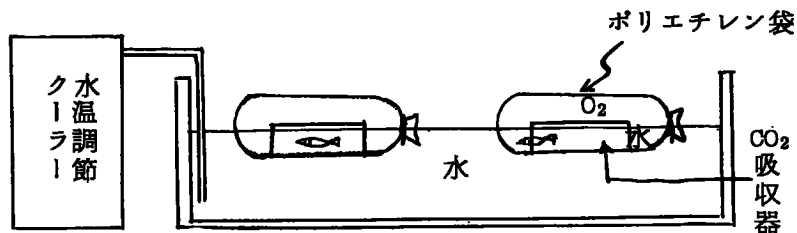


図-4

又はポリエチレン袋(2重にする)に入れて、酸素ガスを封入した後密閉した。炭酸ガス吸収器は、空気中に曝らしておくとき空気中の炭酸ガスを吸収して性能が低下するので、保存にはポリエチレン袋又はガラス瓶に入れて、酸素ガスを封入し、使用直前に取り出して実験に用いた。コアユを封入し、実験準備を終えた容器は実験室では、一定の水温を保ちながらコアユの観察を行った。実験の終了は一応容器内の供試魚に異常がみとめられ、数尾に横転、狂奔等が始まる時点としたが実験により異なる場合もある。実験終了と同時に開封し、水質分析用の採水をした後、水温の同じ清水(水温調節用水槽の水)に戻して、正常魚、衰弱魚、斃死魚の尾数と重量を測定した。輸送実験後の斃死をみるため、引き続き清水中で観測をした例もある。水質分析は、気温の高い時期でもあるので、採水時の水温を出来るだけ変化させないように考慮し、又短時間内に処理する様にした。ゼオライトは、水中の $\text{NH}_4 - \text{N}$ の除去と水面に発生してくる泡を消すために使用したが、使用に際しては十分に乾燥したのち、実験容器内の水が濁らないように、水洗いして用いた。使用量は乾燥重量で示した。

結果 および 考察

炭酸ガス吸収剤の選択

通常に使用されている薬剤から、水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水酸化バリウム $\text{Ba}(\text{OH})_2$ をとりあげ、この2つについて吸収剤を決めるための実験をした。表2に示したように、実験-Iの対称区と $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 区では、実験開始後約3時間で炭酸ガス吸収除去の効果は認められ、コアユの状態には明白な差異があるが、実験終了時では、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 区は $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 区以上の効果が認められた。実験-IIは実験-Iよりも水1ℓ当りの魚の量を少なくして、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の効果を調べた。実験終了時の魚の状態からは優劣はないが、実験-Iでみられたように、 CO_2 の吸収の点で $\text{Ba}(\text{OH})_2$ は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ より劣っている。このことより以後の実験には $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を吸収剤として使用することにした。ユミクロン膜面積(A)、吸収剤量(B)、吸収剤挿入方法(C)炭酸ガス水溶液濃度(D)、(A)×(B)、(B)×(D)交互作用について、炭酸ガス吸収器の性能を直交配列表を用いて分散分析した結果、取上げた要因については有意な差が出なかったが、膜面積と吸収剤の挿入方法が吸収器の性能に影響を及ぼす傾向のあることが分かった。

表 2 吸収剤の選択試験

実験 №	尾数(重量g) コアユ 水量ℓ	水ℓ 当り コア ユ量	水ℓ 当り O ₂ ガ ス量	容器	ユミク ロン膜 面積 cm ²	吸収 剤量 g	時間経過における魚の状態					実験 時間 h m	水温 ℃	実験終了時の水質		備考						
							1	2	4	6	8			10	PH		CO ₂ mg/ℓ	D.O. cc/ℓ	NH ₄ -N ppm			
I 1	28 (110) 1.5	78	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	7.05	9.5	6.20	69.5	11.92	7.68	吸収器は 水表面に 浮ぶ CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
I 2	28 (118) 1.5	79	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	610×1	Ba(OH) ₂ 10	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	7.00	9.5	6.25	59.5	8.68	9.36	CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
I 3	28 (109) 1.5	78	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	610×1	Ca(OH) ₂ 10	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	6.55	9.8	6.68	16.9	6.64	8.46	CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
I 4	26 (109) 1.5	71	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	610×2	Ca(OH) ₂ 20	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	6.50	9.8	6.90	13.5	2.85	7.50	CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
II 5	20 (79) 1.5	53	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	10.00	9.4	6.11	81.4	16.51	6.00	鉛の鍾り をつけて 吸収器を 沈める CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
II 6	20 (82) 1.5	55	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	610×1	Ba(OH) ₂ 10	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	10.00	9.8	6.31	42.7	7.64	7.32	CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
II 7	20 (74) 1.5	49	0.3	2ℓ下口付ガラス瓶	610×1	Ca(OH) ₂ 10	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	10.00	9.8	6.85	14.2	7.28	5.76	CO ₂ は P・P法			
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1
							弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1	弱1		弱1	弱1	弱1

表3 繁殖の始まる時の状況

実験 №	尾数(重さg) コアエ 水量ℓ	水1ℓ 当り コア エ量 g	水1ℓ 当り O ₂ ガス 量 ℓ	容 器	ユミク ロン 膜 面 積 cm ²	Ca(OH) ₂ 量 g	時間経過における魚の状態				実 験 時 間 h m	水 温 ℃	実験終了時の水質			備 考	
							1	2	3	4			pH	CO ₂ mg/ℓ	D.O. c/ℓ		NH ₄ -N ppm
8	79(409) 2	205	1.3	ポリエチレン袋	0	0	苦悶				2.10	9.7	76	74.94	13.99	4.44	CO ₂ は 西条式
							8										
9	81(384) 2	192	1.3	ポリエチレン袋	0	0	苦悶	"			3.10	9.7	67	56.79	14.53	4.59	CO ₂ は 西条式
							2	6									
10	78(397) 2	199	1.3	28 cm × 45 cm	0	0	苦悶	"	苦悶		4.00	9.7	52	87.36	12.76	6.75	CO ₂ は 西条式
							1	5	16~7								
11	82(426) 2	213	1.3	28 cm × 45 cm	0	0	苦悶	"	苦悶		4.10	9.7	61	99.35	11.48	6.96	CO ₂ は 西条式
							1	6	16~7								
12	92(474) 2	237	1.3	28 cm × 45 cm	0	0	苦悶	"	苦悶		4.20	9.7	73	103.23	10.24	8.88	CO ₂ は 西条式
							2	2	12~3								
13	25(101) 0.5	202	2.8	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	-	-	横転		3.03	11.2	23	83.53	22.44	9.31	CO ₂ は 西条式
									2~3								
14	25(100) 0.5	200	2.8	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	-	-	"		2.59	11.2	22	76.66	22.83	9.71	CO ₂ は 西条式
									"								
15	25(101) 0.5	202	2.8	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	-	-	"		3.03	9.8	23	81.26	23.71	9.91	CO ₂ は 西条式
									"								
16	25(100) 0.5	200	2.8	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	-	-	"		3.05	9.8	23	72.30	22.38	9.51	CO ₂ は 西条式
									"								
17	25(100) 0.5	200	2.8	2ℓ下口付ガラス瓶	0	0	-	-	"		3.11	9.8	22	69.82	22.81	10.11	CO ₂ は 西条式
									"								

斃死の始まる時の状況

CO₂ 除去の実験に先立ち、密閉容器内で、コアユが斃死に至る直前の状況を水質的に再度確認のため観察した。表3の例からも判るように、実験終了時の水質を個々の条件としてみると、溶存酸素量は実験Ⅲでは10 cc/l 以上、実験Ⅳでは22 cc/l 以上と多く、溶存酸素量のみからは1.5 cc/l 以下から斃死が始まる事⁶⁾ からも十分な量といえる。実験Ⅲ、Ⅳを比較すると、実験容器内の水量を少なくしても、封入O₂ ガス量を多くし、溶存酸素量を大きくすれば生残率がよくなっている。アンモニア態窒素量については表3の4.44~10.11 ppmの範囲についても、その時のP^H が低い事からも、NH₄-Nのために斃死が生じるとは考え難い⁶⁾²⁾ P^H はいずれも6近くまで低下しており、CO₂ の蓄積がその要因であろう。分析項目は少ないが、餌止めされた魚が短時間の間に斃死に至るのは、溶存酸素の呼吸消費による減少と、呼吸によって呼出される炭酸ガス量の増加によるものと、アンモニア態窒素量に代表される排泄物量の増加によるものの3条件を主な要因と考えて大きな誤まりはないと思われる。そして相乗の効果も考えられるが表2および、その後の実験でも明らかなように、CO₂ 除去の効果が大きいことから、活魚輸送におけるCO₂ の弊害は大きいものである事がわかる。

炭酸ガス吸収除去の効果

炭酸ガス吸収剤の選択試験においても、すでに炭酸ガス除去の効果が大きい事は明らかである。表4、図5に示したように、いずれの場合も時間的に量的に従前⁹⁾ と比較して長時間、高密度の輸送が出来る事を示している。実験-Vでは、6時間経過後、対照区は斃死率は86.7%であるが、吸収除去区では2.2~7.0%と低率であり、対照区では正常魚はみられない。CO₂ は除去区では対照区に比し75.1%~82%除去されており、P^H はCO₂ 吸収器を多く使った区ほど高い値になっている。そして吸収除去区では、斃死の始まる時点(実験終了時)では溶存酸素量は1.40~2.24 cc/l と低く、有効に利用されている。実験-VIでも、対照区は6時間後には75~93.5%の斃死率であるが、同時間での吸収除去区では斃死はみられない。水1ℓ当りのコアユ収容量が180gと通常輸送の3倍近い収容量であってもCO₂ の吸収除去を行えば、P^H をかなり安定に保つことが出来、溶存酸素をも有効に利用されている。これはCO₂ の吸収除去を行ないながら長時間又は大量に輸送する場合には、酸素補給をしなければならぬことと、従来の輸送量では、量的に少なかったため、大きな問題とならなかったNH₄-Nの蓄積をも考慮せざるを得なくなる事を示している。実験-VIIでは、水1ℓ当りのコアユの量を238~375gとさらに高密度にした。実験№25と№26の区は、CO₂ 除去の効果は水質分析から認められるが、実験終了時の魚の状態はあまり変らない。370g/l と375g/l の区では、4時間40分後の状態は、水質的にも、魚の状態ではCO₂ 除去区が優っている。魚の収容量を多くするに従って、気付いた事であるが、CO₂ 除去区の実験容器内に多量の泡が発生するのがみられたので観察記録として記した。実験-VIIで吸収除去区と対照区で斃死率には差はないが、水質項目からは除去区の方が明らかに環境条件はよい。実験-VIIIでもCO₂ 除去の効果が大きい事を示して

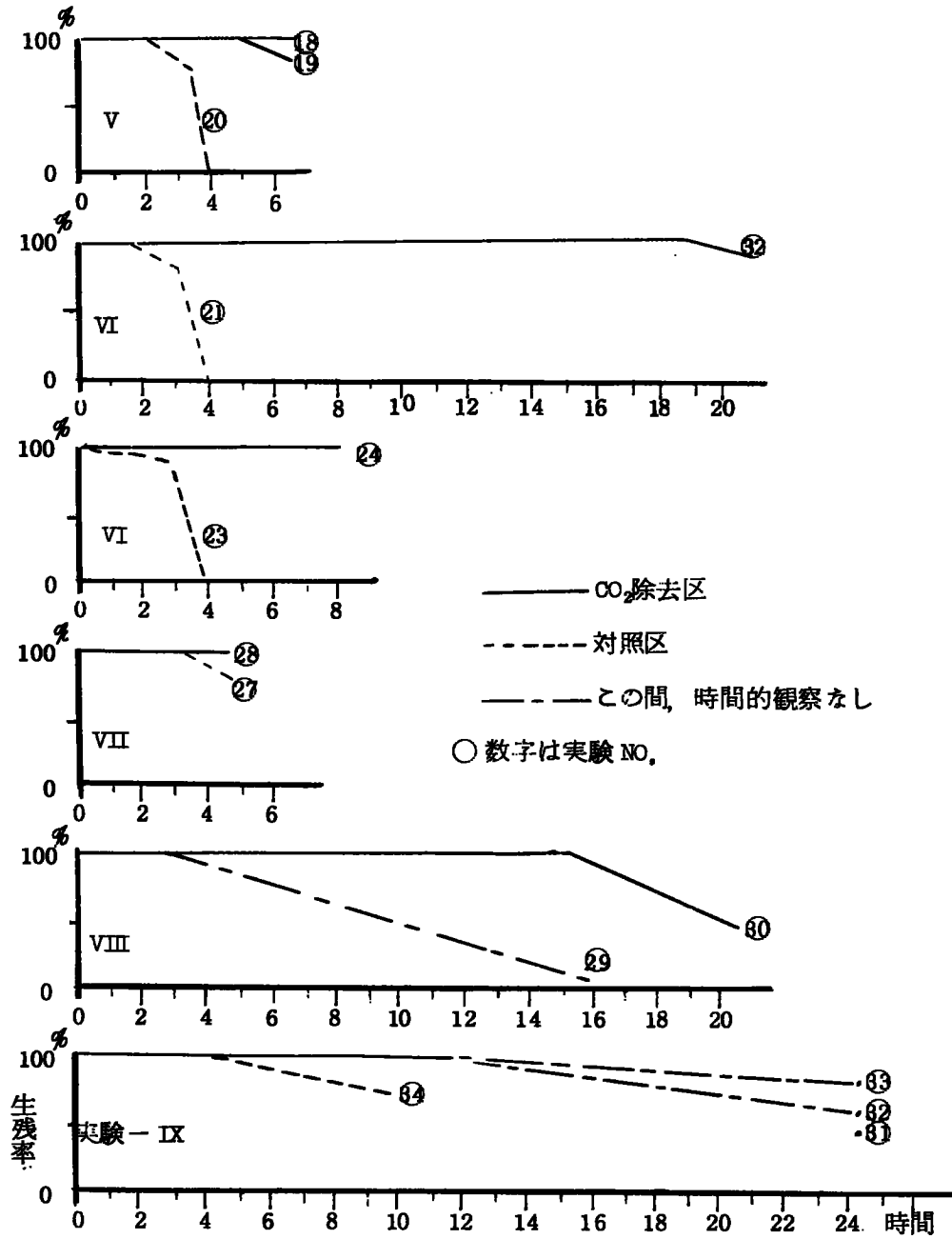


図-5 CO₂除去の効果

27	(740)	370	3.6	ガラス瓶	0	0	—	弱	弱	4.45	9.4	590	150	0	0	6.04	109.2	15.82	16.50	CO ₂ はPP法
		2.0					—	2	10											
28	(750)	375	3.6	305×6	60	60	泡 1/2	泡 1/2	泡 全 面	4.40		750	0	0	0	6.50	58.6	10.76	22.2	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 1/2	泡 1/2	泡 全 面											
29	100(500)	250	3.8	0	0	0	—	—	死 全	17.00	9.4	0	0	100	100.0	6.06	150.2	6.94	29.4	CO ₂ はPP法
		2.0					—	—	死 全		~	0	0	尾	尾					
30	103(476)	238	3.8	305×6	60	60	—	泡 多	泡 多 弱 10 死 敵	21.00	9.4	45	20	38	36.9	6.99	53.2	12.00	27.3	CO ₂ は西条式
		2.0					—	泡 多	泡 多 弱 10 死 敵		~	45	20	38	36.9	6.99	53.2	12.00	27.3	
31	39(205)	108	1.4	150×6	12	12	泡 少	泡 少	7h00 泡 少	25.10	9.9	20	19	0	0	6.96	24.83	20.69	21.00	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 少	泡 少	7h00 泡 少		~	20	19	0	0	6.96	24.83	20.69	21.00	
32	39(235)	118	1.4	150×4	8	8	泡 1/2	泡 1/2	泡 1/3	25.00	9.9	21	15	3	7.7	6.79	43.21	22.25	19.20	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 1/2	泡 1/2	泡 1/3		~	21	15	3	7.7	6.79	43.21	22.25	19.20	
33	40(215)	108	1.4	150×2	4	4	泡 1/6	泡 1/4	泡 1/2	24.50	9.7	33	4	3	7.5	6.41	77.10	21.07	18.20	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 1/6	泡 1/4	泡 1/2		~	33	4	3	7.5	6.41	77.10	21.07	18.20	
34	40(210)	105	1.4	0	0	0	泡 無	泡 無	9h00 泡 無 弱 8	9.50	9.7	28	12	0	0	5.93	133.89	20.04	7.60	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 無	泡 無	9h00 泡 無 弱 8		~	28	12	0	0	5.93	133.89	20.04	7.60	
35	79(430)	215	1.3	150×6	12	12	泡 少 1/10	泡 2/10	14h00 泡 1/10 少 なくなる	14.20	9.7	71	8	0	0	6.75	37.53	22.35	34.00	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 少 1/10	泡 2/10	14h00 泡 1/10 少 なくなる		~	71	8	0	0	6.75	37.53	22.35	34.00	
36	81(450)	225	1.3	150×4	8	8	泡 少	泡 1/10	泡 少	14.00	9.9	71	10	0	0	6.45	65.17	20.16	36.00	CO ₂ は西条式
		2.0					泡 少	泡 1/10	泡 少		~	71	10	0	0	6.45	65.17	20.16	36.00	

いる。実験-Ⅸは、水1ℓ当りのアユ量を約100gに減らして、長時間の輸送試験を行なった。CO₂の吸収除去は効果が大きく、対称区では、9時間後では衰弱魚8尾と水質環境が悪くなってきており、9時間50分で実験を打切ったところ、CO₂ 133.89 mg/ℓ、pH 5.93、D.O 20.04 cc/ℓで、溶存酸素量は多くても、間もなく全部斃死に至ると思われた。CO₂吸収除去区の№31～33では実験魚に異状はなかった。その後も異状が認められないので、24時間経過後に実験を終えた。その結果、№31で51%、№32で54%、№33では82%と正常魚があり、斃死率では0～7.7%の低率であった。これは従来、密閉輸送で水1ℓ当りアユ量60gまでは24時間輸送で斃死率10%以内であるが、それ以上では急激に斃死率が上昇する。水1ℓ当りのアユ量100gでは18時間で衰弱又は斃死魚で、24時間では斃死率はほぼ100%に達する。⁹⁾ 実験-Ⅸの場合は、アユ量103～118g/水1ℓで、約25時間後の斃死率は、0～7.7%である。CO₂量は、対照区において衰弱魚の出はじめた時の量の18～58%に除去されている。NH₄-N量は、対照区の7.6 ppmよりかなり多く、1820～2100 ppmであるが、pHとの関連もあるが、この実験では斃死の要因にはなっていないといえる。やはり、実験-ⅨでもCO₂除去の効果の大きい事がわかる。図-5では、生残率で図示した。この場合は衰弱魚は清水に戻しても斃死する事が多いので、正常魚のみを生残率(%)で示した。CO₂吸収器の除去能力は実験-V、Ⅶから試算するとCO₂ 1.03～5.85mg/膜100cm²・1時間と巾のある値となる。

CO₂を除去すると、泡が発生しやすい。これはNH₄-Nに代表される排泄物と、CO₂とが何んらかの形で泡に関係しているのが、一方の吸収除去によって泡を発生しやすくするのであろう。泡が発生する事自体は、水中の有害な物質を泡沫分離していることになる¹¹⁾ので魚に悪い影響を与えるとは思わないが、水面を覆ってしまう場合は、酸素ガスの水中への溶入が少なくなる事も考えられるので、泡の抑制を試みた。以前にイオン交換樹脂¹⁰⁾ゼオライト⁷⁾を使って、NH₄-Nを除去した時に泡が発生しにくかった事から、今回は無害のゼオライトを使用した。粒状ゼオライトをアユの量100gについて25g用いると20時間内外では泡の発生はみられなかったが、12.5gではあまり効果はなかった。ゼオライトが何を吸着したために泡が発生しないのかは、研究していないので不明である。

表5 ゼオライトを使って泡を抑制する試験

実験 No	尾数(重量) コアユ 水量ℓ	水ℓ 当り コア ユ量 g	水ℓ 当り O ₂ ガ ス量 ℓ	容 器	ユミク ロ-膜 面積 cm ²	Ca (OH) ₂ 量 g	ゼオ ライト 量 g	時間経過における魚の状態等						実験 時間 h m	水 温 ℃			実験終了時 の 水 質			備 考			
								1	2	3	4	5	6		20	22	pH	CO ₂ mg/ℓ	D.O NH ₄ -N ppm					
37 XI	86(400) 2.0	200	3.8	10ℓ下口付ガラス瓶	305×4	40	100	—	—	—	—	—	—	22.20	9.9	79	7	0	0	6.58	59.3	8.73	15.8	CO ₂ は RP法
	100(460) 2.0	230	3.8		0	0	0	弱 1	弱 5	泡弱 なし			6.00	9.5	99	1	0	0	5.95	82.0	14.01	14.0		
39 40 XII	80(410) 2.0	205	1.3	ポリエチレン	150×4	8	50	泡 少	1/10 以 下	7h00 12h00 15h00 泡 1/10 2/10 1/10			21.30	9.9	59	15	6	7.5	6.31	103.78	6.35	20.05	CO ₂ は 西 条 式	
	79(400) 2.0	200	1.3		150×4	8	50	泡 少	1/10 以 下	泡 1/10 2/10 1/10			21.20		60	11	8	10.1	6.25	99.51	9.63	20.13		
41 42	80(405) 2.0	203	1.3	28cm × 45cm	150×4	8		泡 少	泡 少	泡 4/10 3/10 1-2	泡 4/10 死 1-2		21.00	9.9	66	5	9	11.3	6.43	103.62	11.85	66.37		
	80(415) 2.0	208	1.3		0	0		泡 なし	泡 なし	泡 なし		4.20	58		22	0	0	5.88	129.27	17.14	5.97			

実用化のための輸送試験

この実験は、アユ種苗を台湾へ航空輸送する場合を考えて行なった。滋賀県から台湾へのアユ種苗出荷は、1966年7月に400 kg を大型上部開放水槽を使って船で、又1969年には200 kg を航空輸送された。航空輸送はダンボール箱（防水二重、L73×H41.5×W42.5 cm）に30 mm 厚のポリスチロールを内装して、ポリエチレン袋二重（50×100 cm）に水量23 ℓ、アユ2 kg、氷約500 gで1梱包30 kg、封入時水温6℃で行なわれた。所要時間は空港でのアユ封入から現地の池まで5時間以内である。この時のアユ2 kg/1ケースは、この輸送方法としては、限界量であった。そこで、炭酸ガス除去によって、アユ4 kg/1ケースの輸送が出来るると必要経費は大巾に軽減されるので、これを目標にして、炭酸ガス吸収器の膜面積、Ca(OH)₂量を検討し実験を行なってみたところ、表6の実験-XV、XVIに示す様な膜面積、Ca(OH)₂量をもって行なえば、ほぼ安全に輸送出来る事が判明した。1970年8月にこの方式で、たまたま輸送する機会があったので試みた所、生残率27%と成績は悪かった。原因は途中の条件に不明な点が多いが、今後の検討資料としたい。今回の一連の実験は、アユ重量g/水1ℓ、容器、O₂ガス量ℓ/水1ℓ、吸収剤等の条件がまちまちで繁雑なデータとなっている。これは水量と輸送時間、輸送量に対するO₂ガス量、CO₂吸収剤の量、ユミクロン膜面積、もっと基本的な呼吸におけるCO₂の呼出量、溶存酸素量と溶存炭酸ガス量、これに関連するP^H、炭酸ガス除去に伴うNH₄-Nの毒性との関係、さらに温度の活魚輸送レベルにおける関係等、不明な点は今後の課題として、実験例から実用的な値を出そうとしたことによる。

ま と め

1. 溶存CO₂の魚類への影響は、生理学では種々述べられている。活魚輸送における輸送量を制限する大きな因子と思われる溶存酸素量、アンモニア量、溶存CO₂量の内、溶存CO₂量に注目せざるを得なくなったので、溶存炭酸ガスの除去を行なって、その効果を実験した。
2. 水中から炭酸ガスを除去する方法として、微孔性特殊半透膜（ユミクロン）を通してCa(OH)₂に吸収させて除去した所、その効果は大きく、輸送量、輸送時間について、どちらか一方を2倍以上にする事が出来る画期的な実験結果を得た。
3. 航空輸送を目的とした実用化試験でも、従来の輸送の倍量が可能となった。

表6 実用化学試験

実験 No.	尾数(重さ) コアユ 水量ℓ	水当り コアユ 量ℓ	水当り O ₂ ガ ス量ℓ	容器	ユミク ロン膜 面積 cm ²	Ca (OH) ₂ 量g	時間経過における魚の状態等						実験 時間 h m	水 温 °C	実験終了時の水質			備 考				
							1	2	3	4	5	9			16	PH	CO ₂ mg/ℓ		D.O cc/ℓ	NH ₄ -N ppm		
XIII 43	(3000) 20	150	14	ポリ袋 50×100	305×23	230	1	1	1	1	1	16	8 13.8	2330	170	500	16.7	6.58	104.5	3.68	13.2	ダンボール箱30cm×30cm×10cm リサイクル断熱材
XIV 44	(4110) 20	200	13	〃	1500×4	40	1	1	1	1	1	5.25	8 11.2	4050	0	30	1.5	6.36	—	7.96	4.65	図-I形式の吸収器の使用
45	(4000) 20	200	13	ポリエチレン袋 50×90 cm	〃	80	1	1	1	1	1	5.00	3.8 9.4	3920	80	0	0	6.20	—	13.56	6.15	
46	(4000) 20	200	13	〃	〃	80	1	1	1	1	1	5.00	4.4 9.6	3910	90	0	0	6.30	—	14.50	6.59	
XV 47	(3500) 20	175	13	〃	〃	0	1	1	1	1	1	4.00	5.4 9.6	3260	240	7	0.2	5.90	—	3.04	4.85	
48	(4000) 20	200	13	ポリエチレン袋 50×90 cm	1500×4	80	1	1	1	1	1	9.00	6.4 10.4	3960	40	0	0	6.42	—	11.17	21.18	
XVI 49	(4000) 20	200	13	〃	〃	80	1	1	1	1	1	9.00	6.4 10.4	3780	220	0	0	6.48	—	13.77	21.54	
50	(4000) 20	200	13	〃	〃	0	1	1	1	1	1	6.00	6.4 8.4	0	3780	220	5.5	5.90	—	6.33	10.48	

文 献

- 1) Black, E.J., F.E.J.Fry, and U.S. Black. ; The influence of carbon dioxide on the utilization of oxygen by some flesh-water fish.
Canadian J. Zool. 32(6), 408 ~ 420, 1954.
- 2) Basu, S.P. ; Active respiration of fish in relation to ambient concentration of oxygen and carbon dioxide. J. Fish. Res. Bb. Canada. 16(2), 175 ~ 212
1959.
- 3) 垣花秀武他 ; 最新イオン交換 375 ~ 400, 広川書店 東京 1966.
- 4) 西条八束 ; 全炭酸測定, 日本プランクトン研究会報11, 1964.
- 5) 猿橋勝子 ; 天然水中の物質代謝の研究(第2報)水中の炭酸物質の平衡濃度比について, 日化誌 76(11), 100 ~ 114, 1955
- 6) 滋賀県水産試験場 ; 指定研究, 活魚輸送技術研究報告書, 1 ~ 35, 1966.
- 7) 中 賢治・岩崎治臣 ; 活魚輸送技術研究-Ⅲ, ゼオライトを活魚輸送の水槽の口過剤として使用するについて, 滋水研報 20, 120 ~ 125, 1967.
- 8) 中 賢治・岩崎治臣 ; 活魚輸送技術研究-Ⅳ, アンモニア態窒素の蓄積及び除去に関する試験, 滋水研報 20, 125 ~ 134, 1967.
- 9) 中 賢治・岩崎治臣 ; 活魚輸送技術研究-Ⅴ, 密閉容器による輸送試験, 滋水研報 21
200 ~ 209, 1968.
- 10) 中 賢治・岩崎治臣 ; 活魚輸送技術研究-Ⅵ, アンモニア態窒素除去剤としてのイオン交換樹脂, 活性炭について. 滋水研報 23, 110 ~ 115, 1971.
- 11) 長崎県水産試験場 ; 活魚輸送技術研究報告-Ⅲ(総括), 20 ~ 24, 1966.
- 12) 山崎隆義 ; 淡水魚の活魚輸送, 水産研究叢書 17, 1 ~ 51. 日本水産資源保護協会
1967.