

二酸化炭素麻酔の活魚輸送への応用可能性の検討

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	竹田, 達右 板沢, 靖男
巻/号	49巻5号
掲載ページ	p. 725-731
発行年月	1983年5月

二酸化炭素麻酔の活魚輸送への応用可能性の検討*1,2

竹田 達右・板沢 靖男

(1982年9月9日受理)

Possibility of Applying Anesthesia by Carbon Dioxide in the Transportation of Live Fish

Tatsusuke TAKEDA*3 and Yasuo ITAZAWA*3

Three different methods to induce either anesthesia or sedation were examined for the purpose of applying to transport of live fish. Two of them, production of carbon dioxide by adding sodium bicarbonate and sulphuric acid to water, and bubbling carbon dioxide and oxygen into water for a short duration until the fish were anesthetized, were simple and cheap ways but were found to be unsuitable in the case of live transport, because these methods were applicable only in cases of very low density of fish. The third method, bubbling carbon dioxide and oxygen into water throughout the course of transport, was safe for carp when P_{CO_2} and P_{O_2} in water were kept at 95-115 mmHg and 400-480 mmHg, respectively, but is considered to be impractical because of the laboriousness and high cost in maintaining P_{CO_2} and P_{O_2} at their optimum levels. And this method was found to be inapplicable for porgies, because safe P_{CO_2} was not effective and effective P_{CO_2} was not safe.

魚の麻酔剤として炭酸水素ナトリウム(重曹, $NaHCO_3$)と酸より生ずる二酸化炭素(CO_2)を利用することは, FISH¹⁾によって示唆され, Post²⁾, BOOKE³⁾によって魚にも人にも安全でかつ安価簡便な優れた麻酔法であることが強調された。最近 MITSUDA *et al.*⁴⁾は CO_2 と酸素(O_2)を1:1の比で短時間水中に吹き込んでコイを麻酔させ, 入酔後は吹き込みを停止してその後6時間麻酔状態が維持された例を報告し, この方法を活魚輸送に応用することを提案した。

本研究は CO_2 麻酔を活魚輸送に応用出来るかどうかを, FISH¹⁾ および Post²⁾ にならった $NaHCO_3$ と酸を用いる方法, MITSUDA *et al.*⁴⁾ に準じた CO_2 と O_2 を短時間吹き込む方法, および CO_2 と O_2 を連続的に吹き込み続ける方法の3法について検討したものである。

実験方法

$NaHCO_3$ と酸を用いる方法 供試魚としてはコイを用いた。実験水温とはほぼ等しい 24-25°C で 10 日間以上, 市販コイ用ベレット飼料を与えながら順化飼育した。水は水道水を1日放置した後に用いたが, これには地下水が混合されており, 十分通気した時の pH は 8.17 で, pH 4.8 アルカリ度は 147 ($CaCO_3$, mg/l) であった。

実験 I では, 17.0×22.5×21.0 (深さ) cm の水槽に 5 l の水を入れ, Post²⁾ に準じて 67.5 g/l の $NaHCO_3$ 溶液と 96-98% 濃 H_2SO_4 の 39.5 g/l 溶液を等量ずつ加え, H_2CO_3 の当初濃度 (以下 $C_{H_2CO_3}$ と記す) にして, 296, 442, 514, 586 および 681 mg/l に相当する 5 試験区を設けた。 $C_{H_2CO_3}$ は便宜上 Post²⁾ の示している式, $C_{H_2CO_3}$ の所望値 (mg/l) × 水量 (l) ÷ 50 = $NaHCO_3$ 溶液および H_2SO_4 溶液の必要量 (ml), によって計算した。 $C_{H_2CO_3}$ と水中の CO_2 分圧 (P_{CO_2}) の関係は Fig. 1 に示す通りで, $P_{CO_2} = 0.33C_{H_2CO_3} - 2.3$ であった。各区の水の pH はそれぞれ, 6.15, 5.98, 5.92, 5.85 および 5.80 であった。

体重 14.8 ± 3.4 g ($\bar{X} \pm S.D.$, 以下同様) のコイを, 2 日間絶食させてから, 各区に $NaHCO_3$ 溶液と H_2SO_4 溶液を加えた直後に 5 個体ずつ収容し, IL Gas Analyzing System Model 113-01 により水中の CO_2 分圧 (P_{CO_2}) および O_2 分圧 (P_{O_2}) を, 日立-堀場 pH メーター D-5 により水の pH を測定し, また魚の状態を観察した。魚の収容密度は 13-17 g/l, 実験水温は 24.2-24.5°C であった。

実験 II では, 10.5×15.0×12.5 (深さ) cm の水槽に 0.5 l の水を入れ, $C_{H_2CO_3}$ にして, 490, 586 および 681

*1 二酸化炭素麻酔による活魚輸送—II

*2 本研究の経費の一部は板沢への文部省科学研究費 (一般 C 556135) によった。

*3 九州大学農学部水産学科 (Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812, Japan).

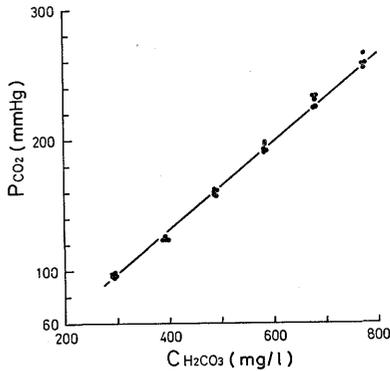


Fig. 1. The relationship between $C_{H_2CO_3}$ (H_2CO_3 concentration in water) and P_{CO_2} in water, using $NaHCO_3$ and H_2SO_4 just after adding the reagents to water.

mg/l の 3 試験区を設けた。体重 7.4 ± 1.5 g のコイを、2 日間絶食させてから、各区に $NaHCO_3$ 溶液と H_2SO_4 溶液を加えた直後に 5 個体ずつ収容し、実験 I と同様の測定と観察を行った。魚の収容密度は 68–85 g/l、実験水温は $25.3\text{--}25.7^\circ\text{C}$ であった。

CO₂ と O₂ を短時間吹き込む方法 供試魚としては 612 ± 76 g のコイを用いた。実験水温とほぼ等しい 23°C で 10 日間以上、市販コイ用ペレット飼料を与えながら順化飼育した。30×45×30 (深さ) cm の水槽に 15 l の水を入れて空気を吹き込み、1 日間絶食させたコイを 1–4 個体収容し、空気の吹き込みを停止して CO₂ と O₂ の 1:1 混合吹き込み (流量はそれぞれ 1 l/min) にぎり替え、10–22 分後にガスの吹き込みを停止し、その後の水中 P_{CO_2} および P_{O_2} ならびに水の pH を測定し、また魚の状態を観察した。実験水温は $22.8\text{--}23.7^\circ\text{C}$ であった。以上の実験条件はおおむね MITSUDA *et al.*⁴⁾ の場合に準じたものであるが、MITSUDA *et al.*⁴⁾ の示している例では魚の体重が 745 g、ガス吹き込み時間が 23 分間であり、水温は 15°C と思われる。

CO₂ と O₂ を連続的に吹き込み続ける方法

1. コイにおける実験 供試魚としては体重 17–82 g のコイを用いた。実験水温とほぼ等しい $23\text{--}25^\circ\text{C}$ で 10 日間以上、市販コイ用ペレット飼料を与えながら順化飼育した。1 あるいは 2 l の広口びんに水を満たし、2 日間絶食させたコイを各びんに 8–11 個体収容し、ただちにガス抜き孔をあけたゴム栓を施し、CO₂ を 7.5–18.1% 含む CO₂·O₂ 混合ガスを、直径 2 cm の噴気管から吹き込んだ。最初の 30 分間でほぼガス平衡に達するようにその間は多量に吹き込み、30 分経過後は流量を少なくした。各実験区の供試魚数、供試魚の体重、水量、魚の収容密度、吹き込みガスの組成および流量を Table 1 に示す。混合ガスを 24 時間連続して吹き込み続け、その間の麻酔所要時間および魚の状態を観察すると共に、水中の P_{CO_2} および P_{O_2} ならびに水の pH を測定した。24 時間後に生残魚を空気を吹き込んでいる水槽に移し、麻酔からの覚醒と回復の状態を観察した。実験水温は $22.5\text{--}24.5^\circ\text{C}$ であった。

2. マダイにおける実験 供試魚としては 7–16 g のマダイを用いた。市販マダイ用ペレット飼料を与えながら $20\text{--}24^\circ\text{C}$ で 1 週間以上予備飼育した後、実験水温とほぼ等しい $23\text{--}24^\circ\text{C}$ で 3 日間以上順化飼育した。海水は塩分 33.8‰、pH 4.8 アルカリ度 114 (CaCO₃, mg/l) であった。1 あるいは 2 l の広口びんに海水を満たし、2 日間絶食させたマダイを各びんに 10 個体ずつ収容し、ただちにガス抜き孔をあけたゴム栓を施し、CO₂ を 2.3–14.3% 含む CO₂·O₂ 混合ガスを、直径 2 cm の噴気管から吹き込んだ。最初の 30 分間でほぼガス平衡に達するようにその間は多量に吹き込み、30 分経過後は流量を少なくした。各実験区の実験条件を Table 3 に示す。混合ガスを 22 時間連続して吹き込み続け、その間コイの場合と同様の観察と測定を行なった。実験水温は $23\text{--}24^\circ\text{C}$ であった。

以上のいずれの場合においても、刺激に対する魚の反

Table 1. Conditions of the experiment with carp kept in the water bubbled with CO₂ and O₂ throughout the course

No.	Number of fish	Weight of fish (g)	Volume of water (ml)	Fish Water (g/l)	Composition of bubbled gas (%)		Flow rate of gas (ml/min)	
					CO ₂	O ₂	0–0.5 h	0.5–24 h
1	10	32.3 ± 5.4	860	376	0	100	30	30
2	11	67.5 ± 7.6	1582	470	0	100	434	30
3	9	62.0 ± 6.3	1732	350	7.5	92.5	440	53
4	8	70.1 ± 4.7	1729	324	9.0	91.0	440	62
5	10	51.7 ± 7.6	1773	291	10.2	89.8	440	53
6	11	62.9 ± 7.7	1599	433	14.3	85.7	434	30
7	11	25.8 ± 3.5	896	317	14.3	85.7	218	30
8	10	31.2 ± 6.9	868	359	18.1	81.9	218	30

Table 2. Results of the experiment with carp kept in the water bubbled with CO₂ and O₂ throughout the course

No.	Pressure of gas in water (mmHg)		pH of water*	Time necessary for sedation (min)	Survival (%)	
	CO ₂	O ₂			in 8h	in 24h
1	14- 20	387-437	—	—	100	100
2	19- 28	367-463	6.82-7.22	—	100	100
3	65- 76	401-474	6.22-6.45	384	100	100
4	80- 87	482-510	6.07-6.34	211	100	100
5	81- 90	482-526	6.04-6.35	270	100	100
6	95-117	398-462	5.98-6.32	26	100	100
7	106-113	462-479	6.12-6.39	36	100	100
8	122-128	392-474	—	24	100	70

* Alkalinity (pH 4.8) is 147 (CaCO₃, mg/l).

応は著しく弱いが体の平衡を維持している状態 (考察に述べる (2) の状態) を鎮静状態、平衡を失って横転したままほとんど静止しているが呼吸運動は停止していない状態 (考察に述べる (3) ないし (5) の状態) を麻酔状態と呼ぶことにする。

結 果

NaHCO₃ と酸を用いる方法 実験 I では、コイの収容密度は 13-17 g/l と低密度であった。水中 P_{CO₂} は各実験区ともほぼ同様な傾きで低下した (Fig. 2) が、水中 P_{O₂} は C_{H₂CO₃} の高い区ほど緩やかに低下した (Fig. 3)。C_{H₂CO₃} 296 mg/l 区では、NaHCO₃ 溶液と H₂SO₄ 溶液を加え、コイを入れてから 1 時間後にコイが鼻上げ状態を呈し始めたが、4 時間後まで麻酔には至らなかった。442 mg/l 区では 20-40 分後に 1 個体が鎮静状態に、4 個体が麻酔状態になったが、1 時間 10 分後から回復し始め、1 時間 30 分後には体の平衡を回復する個体が現れ、2 時間 20 分後には 5 個体すべてが平衡を回復し、鼻上げ行動を示す個体もあった。514 mg/l 区では 5-20

分後に 5 個体すべてが麻酔状態になったが、3 時間 20 分後から覚醒し始め、3 時間 40 分後には一部の個体が 5 時間後にはすべての個体が平衡を回復した。586 mg/l 区では 5-10 分後に 5 個体すべてが麻酔状態になり、1 時間 50 分後に 1 個体が呼吸運動を停止して死に至った。しかし残余の 4 個体は 5 時間 4 分後から平衡を回復し始め、6 時間 38 分後には 4 個体すべてが平衡を回復した。681 mg/l 区では 5 分後に 5 個体すべてが麻酔状態となり、20 分後に 2 個体、1 時間 30 分後に 1 個体、2 時間後に 1 個体、7 時間 49 分後に 1 個体が呼吸停止し、全個体ともへい死した。

実験 II では、コイの収容密度は 68-85 g/l とやや高かった。そして水中 P_{CO₂} は急速に低下した (Fig. 4)。C_{H₂CO₃} 490 mg/l 区では 5 分後に 1 個体が麻酔状態になったが 10 分後には平衡を回復し、他の 4 個体は麻酔状態に至らなかった。586 mg/l 区では 5-10 分後に 3 個体が麻酔状態になったが 30 分後から平衡を回復し始め、35 分後には 3 個体とも平衡を回復した。そして 2 個体は全く麻酔状態には至らなかった。681 mg/l 区では 5 分後

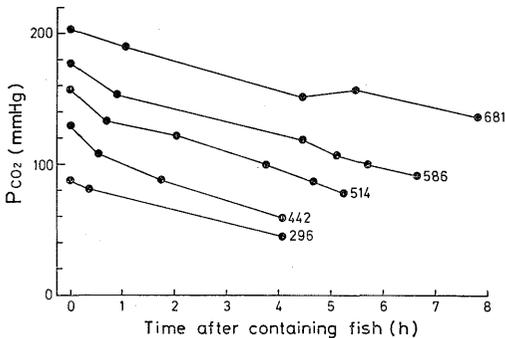


Fig. 2. Change of P_{CO₂} in the experiment using NaHCO₃ and H₂SO₄.

Numbers in the figure show the initial concentrations of H₂CO₃ (mg/l). Density of carp was 13-17 g/l.

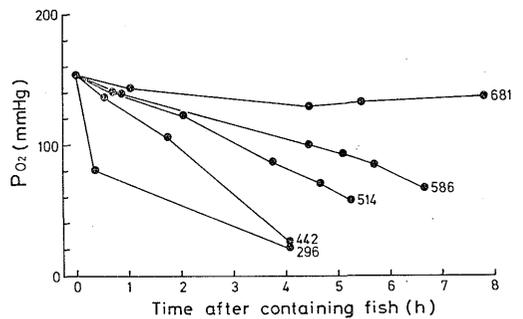


Fig. 3. Change of P_{O₂} in the experiment using NaHCO₃ and H₂SO₄.

Numbers in the figure show the initial concentrations of H₂CO₃ (mg/l). Density of carp was 13-17 g/l.

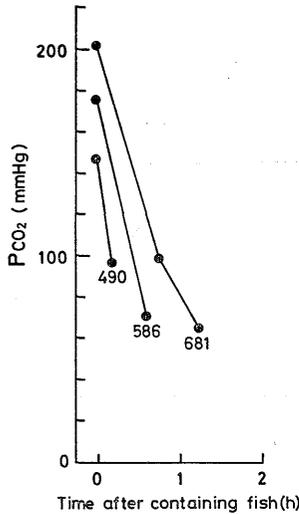


Fig. 4. Change of P_{CO_2} in the experiment using $NaHCO_3$ and H_2SO_4 .

Numbers in the figure show the initial concentrations of H_2CO_3 (mg/l). Density of carp was 68–86 g/l.

に全個体が麻酔状態となったが、1時間9分後から平衡を回復し始め、1時間14分後には全個体が平衡を回復した。

CO₂ と O₂ を短時間吹き込む方法 魚を収容していない水中に CO₂:O₂ が 1:1 の混合ガスを吹き込んだ時の水中 P_{CO₂} および P_{O₂} ならびに水の pH は、吹き込み開始後 30 分間ぐらいの間は著しく変化し、吹き込み時間の僅かな差が大きく影響することを示した (Fig. 5)。魚を収容しなかった対照区および収容個体数やガス吹き込み時間の異なる 8 例について、ガス吹き込み停止後の水中 P_{CO₂} および P_{O₂} ならびに水の pH の変化を Fig. 6 に示す。横軸は混合ガス吹き込み開始後の時間を示し、最初の点は混合ガス吹き込み停止直後の値である。A は対照区で魚を収容しておらず、B, C, D および E は 1 個体/15 l 収容し、密度 (g/l) はそれぞれ 43, 29, 42 および 35 である。ガス吹き込み時間は、B と C では 10 分間、D では 14 分間、E では 20 分間であった。ガス吹き込み時間が長いほど、当初の水中 P_{CO₂} が高く、吹き込み停止後の P_{CO₂} 低下が緩やかであった。水中の P_{O₂} も同様な傾向を示し、水の pH はほぼ反対の傾向を示した。コイは B, C, D, E でそれぞれ 29 分後、18 分後、14 分後、18 分後にはほぼ麻酔状態となり、B, C, D では 1 時間 6 分後、4 時間 31 分後、7 時間 6 分後に完全に平衡を回復したが、E では 11 時間 42 分後に一度平衡を回復したもののすぐに横転し、22 時間 48 分後までにへい死した。F, G (2 個体/15 l, 収容密度 80, 94 g/l, ガス吹き込み時間 18, 20 分間) では、水中 P_{CO₂} および

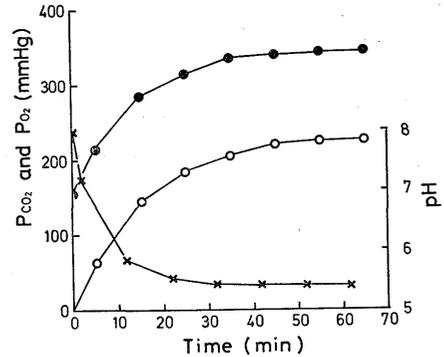


Fig. 5. Changes of P_{CO_2} (open circles), P_{O_2} (solid circles) and pH (crosses) in the experiment bubbling CO_2 and O_2 into water containing no fish.

P_{O₂} ならびに水の pH は同様な傾向の変化を示し、ガス吹き込み時間は近似するが収容魚が 1 個体の D あるいは E に比べ、P_{O₂} の低下が急速であった。コイは F では 16 分後に 2 個体とも麻酔状態となり、7 時間 36 分後に空気を吹き込んでいる水槽に移すまで完全に平衡を回復するには至らなかった。通気水槽に移した後は 2 分以内に 2 個体とも平衡を回復した。G では 2 個体とも 18 分後に麻酔状態になり、1 個体は 6 時間 52 分後に平衡を回復した。他の 1 個体は 9 時間 50 分後に通気水槽に移すまで平衡を回復するに至らなかったが、移した後 7 分間で平衡を回復した。H, I (4 個体/15 l, 収容密度 154, 176 g/l, ガス吹き込み時間 12, 22 分間) では、吹き込み時間の短い H は到達 P_{CO₂} が低く、吹き込み停止後の P_{O₂} 低下が速かった。コイは H では 12–20 分後に 4 個体中 3 個体が平衡を失ったが時々狂弄状態を示す個体があり、他の 1 個体は 3 時間 22 分後に平衡を失った。4 時間 8 分後から時々けいれんを示す個体があり、4 時間 31 分後から 8 時間 47 分後までに 3 個体がへい死した。残る 1 個体は 9 時間 12 分後に通気水槽に移した後 12 分で平衡を回復した。I では 5–20 分後に 4 個体とも麻酔状態になり、1 時間 53 分後から 6 時間 7 分後までに 3 個体がへい死した。残る 1 個体は 9 時間 52 分後に通気水槽に移し、その 9 分後に平衡を回復したが、翌日すべての鱗に脱色が見られ、眼も混濁し、2 日目には平衡を失い、体が充血膨満し、3 日目にへい死した。

CO₂ と O₂ を連続的に吹き込み続ける方法

1. コイにおける実験 Table 1 に示す条件で CO₂:O₂ 混合ガスを吹き込み続けた時、各実験区の水中 P_{CO₂} および P_{O₂} ならびに水の pH は Table 2 に示す範囲に保たれた。コイの収容密度が 291–470 g/l の高密度だったので、O₂ のみを吹き込んだ Nos. 1–2 (対照) 区でも水中 P_{CO₂} は 14–28 mmHg に達した。コイが鎮静状態に

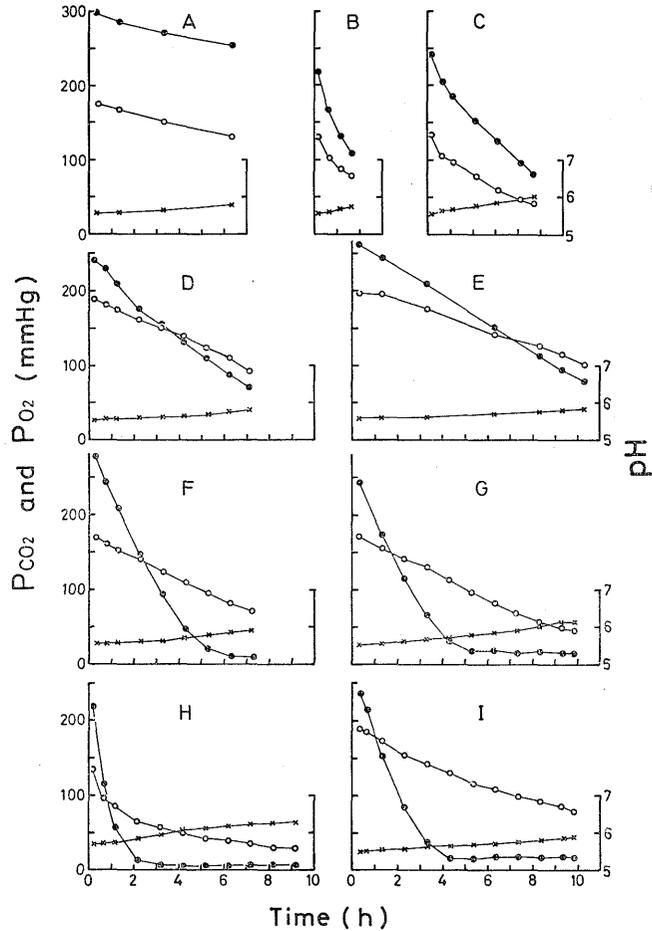


Fig. 6. Changes of P_{CO_2} (open circles), P_{O_2} (solid circles) and pH (crosses) after the start of bubbling CO_2 and O_2 .

The first point of each bended line indicates the value at the time of cessation of bubbling.

Density of carp was 0 fish/15 l in A, 1 fish/15 l in B, C, D and E, 2 fish/15 l in F and G, and 4 fish/15 l in H and I.

なるのに要した時間は Nos. 3-5 の諸区 (P_{CO_2} 65-90 mmHg) では 3.5-6.5 時間, Nos. 6-8 の諸区 (P_{CO_2} 95-128 mmHg) では 30 分前後であった。8 時間後まではいずれの区にもへい死は見られず, 24 時間後の生残率も P_{CO_2} の最も高い No. 8 (122-128 mmHg) を除けば 100% であった。しかし対照区と No. 3 (65-76 mmHg) を除く諸区において, 尾鰭末端部の脱色が認められた。Nos. 4-7 (80-117 mmHg) では全個体の 40% に脱色が認められるにとどまったが, No. 8 (122-128 mmHg) では 24 時間後には 100% の個体に脱色が認められ, また同区では一部の個体に眼球中央部の白濁が見られた。24 時間後にコイを通気水槽に移したところ P_{CO_2} 117 mmHg 以下の諸区では尾鰭の脱色部が 1 週間内に回復したが, No. 8 (122-128 mmHg) では尾鰭のその部分が脱落した。

2. マダイにおける実験 Table 3 に示す条件で $CO_2 \cdot O_2$ 混合ガスを吹き込み続けた時, 各実験区の水中 P_{CO_2} および P_{O_2} ならびに水の pH は Table 4 に示す範囲に保たれた。魚の収容密度が 117-143 g/l の Nos. 101-103 区の場合, P_{CO_2} 23-27 mmHg では 5 時間 25 分後に鎮静状態になったが 6 時間 30 分後には苦悶し始め, 生残率は 8 時間後で 90%, 22 時間後では 0% であった。 P_{CO_2} 39-48 mmHg では 7 分後から狂弄し, 44 分後からけいれんを示し, 2 時間 27 分後からへい死し始め, 生残率は 8 時間後に 10%, 22 時間後には 0% であった。このように収容密度 117-143 g/l の諸区では, 活魚輸送に適する鎮静状態は得られなかった。収容密度を 50-64 g/l と低くした Nos. 104-111 区の場合にも, No. 106 (P_{CO_2} 31-35 mmHg) で 45 分後から 65 分後までの 20 分間鎮静状態になったがその後覚醒し, Nos. 107-111

Table 3. Conditions of the experiment with porgies kept in the water bubbled with CO₂ and O₂ throughout the course

No.	Number of fish	Weight of fish (g)	Volume of water (ml)	Fish Water (g/l)	Composition of bubbled gas (%)		Flow rate of gas (ml/min)	
					CO ₂	O ₂	0-0.5h	0.5-22h
101	10	12.5±1.8	875	143	0	100	220	30
102	10	10.5±1.9	895	117	2.3	97.7	220	50
103	10	12.1±1.5	879	138	4.8	95.2	220	50
104	10	12.1±1.5	1879	64	0	100	440	60
105	10	10.7±1.4	2043	52	2.9	97.1	440	60
106	10	12.2±1.9	2028	60	3.9	96.1	440	60
107	10	10.2±2.5	2048	50	5.8	94.2	440	60
108	10	11.6±1.5	2034	57	7.1	92.9	440	60
109	10	10.6±1.5	1894	56	9.0	91.0	440	60
110	10	11.7±1.1	2033	54	11.6	88.4	440	60
111	10	12.5±2.7	2025	58	14.3	85.7	440	60

Table 4. Results of the experiment with porgies kept in the water bubbled with CO₂ and O₂ throughout the course

No.	Pressure of gas in water (mmHg)		pH of water*	Time necessary for sedation (min)	Struggling began at (min)	Survival (%)		
	CO ₂	O ₂				in 4h	in 8h	in 22h
101	- 9	592-652	6.71-7.48	—	—	100	100	100
102	23- 27	509-620	6.08-6.43	325	390	100	90	0
103	39- 48	548-669	6.07-6.18	—	44	100	10	0
104	4- 7	586-722	6.94-7.62	—	—	100	100	100
105	24- 25	612-713	6.22-6.51	—	—	100	100	100
106	31- 35	624-683	6.08-6.52	45-65	—	100	100	100
107	42- 45	598-672	6.07-6.13	19	58	80	70	40
108	48- 60	569-655	6.02-6.18	12	41	40	10	0
109	59- 65	544-643	5.93-6.08	16	53	50	0	0
110	79- 85	573-685	5.79-5.93	11	85	30	0	0
111	97-104	578-622	5.72-5.72	12	94	40	0	0

* Salinity is 33.8‰, and alkalinity (pH 4.8) 114 (CaCO₃, mg/l).

(P_{CO₂} 42-104 mmHg) では 11-19 分後に鎮静状態になったが 41-94 分後には苦悶し始め、P_{CO₂} の高い区からへい死し始めた。このように収容密度 50-64 g/l の低密度区でも長く鎮静状態を保つことは出来なかった。

考 察

CO₂ に対する魚の反応諸段階 魚に CO₂ を作用させると、多くの場合影響の程度が甚しくなるに従い順次下記のような状態を示した。(1) 鼻上げ様の行動を示しながら激しく狂弄する。(2) 刺激に対する反応が著しく弱い。体の平衡は維持している。呼吸運動は深くかつ速い。(3) 体の平衡を失って横転し、ほとんど静止する。呼吸運動は深くかつ速い。(4) 横転静止、呼吸運動は浅くかつ速い。(5) 横転静止、呼吸運動は不規則。(6) 横転静止、呼吸運動停止、死に至る。これらの諸段階を KIKUCHI *et al.*⁵⁾ に基づく関沢⁶⁾ の記述 (下記の ' ' 内)

と照合すると、(1) は '入酔時の発揚期'、(2) は '第 I-1 期「逃避的遊泳行動の消失」'、第 I-2 期「諸感覚機能の消失、鰓蓋運動は中度に亢進」、(3) は '第 II-1 期「平衡運動の部分的失調」'、(4) は '第 II-2 期「平衡運動消失、(中略)、鰓蓋運動の振幅小かつ弱度の亢進」'、(5) は '第 III 期「(前略)、鰓蓋運動弱度に不規則」'、(6) は '第 IV 期「呼吸運動の停止、数分後心拍の停止」' におよそ相当するものと考えられる。ただしどの場合にも以上の段階をすべて経過するわけではなく、CO₂ の影響が軽度の場合には初期の段階にとどまり、あるいは途中から前の段階に逆戻りすることもある。

NaHCO₃ と酸を用いる方法 コイを 13-17 g/l の密度で収容した実験 I の場合、C_{H₂CO₃} が 442 mg/l 以下では十分な麻酔状態は得られず、586 mg/l 以上ではへい死する個体があったが、514 mg/l では約 3 時間麻酔状態が持続した。コイを 68-85 g/l の密度で収容した実験 II の

場合、水中 P_{CO_2} の低下が速く、 $C_{H_2CO_3}$ の最も高い 681 mg/l 区でも約 1 時間しか麻酔状態が持続しなかった。これは魚の収容密度が高いため魚による炭酸物質の吸収および魚の活動による水面から空気中への CO_2 拡散の程度が大きかったためであろう。

$NaHCO_3$ と酸を用いる方法は、安価かつ簡便であるが、 $C_{H_2CO_3}$ を高くすれば魚に危険があり、低くすれば酸素消費抑制の程度が小さく水中 P_{O_2} の低下が速やかである (Fig. 3)。また魚の収容密度が 68–85 g/l 程度でも水中 P_{CO_2} が急速に低下してしまう (Fig. 4)。業者の活魚輸送をコイ輸送の 1 例について見ると、350 g/l の収容密度で O_2 を吹き込みながら 8 時間の輸送を行なっている。これらのことから、 $NaHCO_3$ と酸を用いる方法はあまり実用的とは考えられない。

CO_2 と O_2 を短時間吹き込む方法 ガス吹き込み時間が長いほど水中 P_{O_2} の低下が緩やかであった。これは水中 P_{CO_2} が高い値になり、その作用によって魚の酸素摂取が抑制されたためと考えられる。ガス吹き込み時間が長過ぎると水中 P_{CO_2} が高くなり過ぎて危険であり、短か過ぎると水中 P_{O_2} の低下が魚に危険となる。魚の収容密度が 80–94 g/l の場合に 18–20 分間ガスを吹き込んだ例では、3–9 時間麻酔状態が保たれた。しかし収容密度が 154–176 g/l の場合にはガス吹き込み時間の長短にかかわらずへい死する個体があった。ガス吹き込み停止後 O_2 の吹き込みによる補給がないので、魚の収容密度が少し高いと酸素欠乏が大きく影響するものと思われる。前述の業者の輸送例における収容密度から見て、この方法もあまり実用的とは考えられない。

CO_2 と O_2 を連続的に吹き込み続ける方法 この方法では、水中の P_{CO_2} も P_{O_2} も一定範囲内に維持出来る。コイにおける実験例では、 P_{CO_2} を 95–115 mmHg、 P_{O_2} を 400–480 mmHg に保てば 291–470 g/l の高い収容密度でも 24 時間にわたって魚を鎮静状態に保つことが出来、生残率も 100% であった。8 時間くらいの輸送なら適正 P_{CO_2} の幅はさらに広くなると考えられる。しかし高 P_{CO_2} は呼吸生理学的には本来有害で、 CO_2 は活魚輸送ではふつう除去することが望ましいと考えられている。 CO_2 がこのように高濃度でもコイが安全に保たれたのは、コイが比較的到高 P_{CO_2} に強く、また ITAZAWA and TAKEDA⁷⁾ にも論じられているように、 P_{O_2} が著し

く高く維持されていたからであろう。本実験の条件において、前記の P_{CO_2} の適正範囲 95–115 mmHg と P_{O_2} 400–480 mmHg は、 CO_2 が 14.3% で残余が O_2 の混合ガスを 30–60 ml/min の流量で吹き込むことによって得られたが、この適正流量は条件によって異なるものと考えられる。実際の活魚輸送に当って P_{CO_2} と P_{O_2} を前述の適正範囲内に維持するための労力と経費は大きなものと想像され、従来から用いられている O_2 のみの連続吹き込みに比べて特に有利とは考えがたい。さらにマダイにおける実験例では、鎮静効果を得るほどの P_{CO_2} では苦悶したりへい死したりする個体を生じ、魚に安全な P_{CO_2} では鎮静効果を得られず、この方法は CO_2 に対しコイより著しく敏感なマダイの場合には適用出来ないと考えられる。このように P_{CO_2} に対する感受性が種によって大きく異なることも、多様な種を対象とする場合にはこの方法の適用を困難にする。

ポリエチレン袋による活魚輸送に、 $CO_2 \cdot O_2$ 混合ガス封入を応用することも考えられ、コイの場合魚の密度が低ければ適用できると思われるが、高密度になると O_2 が不足し、長時間の輸送は困難と考えられる。

以上のように CO_2 を利用することは、短時間の麻酔のためには魚にも人にも安全で優れた方法と考えられるが、長時間にわたる活魚輸送のためには難点が多く、従来から実用されている諸方法に比べて特に有利とは考えがたい。

文 献

- 1) F. F. FISH: *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **72**, 25–29 (1943).
- 2) G. POST: *Progr. Fish.-Cult.*, **41**, 142–144 (1979).
- 3) H. E. BOOKE, H. HOLLENDER and G. LUTTERBIE: *Progr. Fish.-Cult.*, **40**, 11–13 (1978).
- 4) H. MITSUDA, K. NAKAJIMA, H. MIZUNO, F. KAWAI and A. YAMAMOTO: *Nutr. Sci. Vitam. nol.*, **26**, 99–102 (1980).
- 5) T. KIKUCHI, Y. SEKIZAWA, Y. IKEDA and H. OZAKI: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **40**, 325–337 (1974).
- 6) 関沢泰治: 活魚輸送 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1982, pp. 38–51.
- 7) Y. ITAZAWA and T. TAKEDA: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **48**, 489–493 (1982).