

炭酸ガスによるサケ親魚への麻酔効果の検討

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2025-06-25
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 山本, 岳男, 渡辺, 研一, 今井, 智, 大貫, 努, 飯田, 真也, 細川, 隆良, 中島, 歩
	メールアドレス:
URL	所属:
	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014751

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



炭酸ガスによるサケ親魚への麻酔効果の検討

山本 岳男^{*1}・渡辺 研一^{*2}・今井 智^{*3}・大貫 努^{*4}・
飯田 真也^{*5}・細川 隆良^{*6}・中島 歩^{*6}

(^{*1} 小浜栽培漁業センター, ^{*2} 養殖研究所病害防除部, ^{*3} さけますセンターさけます研究部技術開発室,

^{*4} さけますセンター帯広事業所, ^{*5} さけますセンター北見事業所, ^{*6} さけますセンター鶴居事業所)

現在, 水産用医薬品の麻酔剤として FA100 (大日本住友製薬) のみが認可されているが, 2006年の食品衛生法の改定に伴うポジティブリスト制度の導入により, 魚類に7日間の休薬期間が設定され¹⁾, 休薬期間内に食用となる可能性のある魚介類への使用は不可能となった。このため, 沿岸来遊期のサケ *Oncorhynchus keta* 親魚は食用として漁獲されているため, 標識施術等に関して FA100を使用することはできなくなり, 新たな麻酔の開発が必要となった。そこで同属のニジマス *O. mykiss*²⁻⁴⁾ およびマスノスケ *O. tshawytscha*²⁾ への麻酔効果が報告されている炭酸ガスを用い, 海水中におけるサケ親魚への麻酔効果について検討した。

本報告では, 炭酸ガス源としてヒラメに対して有効性が認められている炭酸ガス発泡剤⁵⁾ およびドライアイスを使用し, 炭酸ガス濃度と麻酔および覚醒までの時間を検討した。さらに, 炭酸ガスは水中への溶解量の増加に伴い, 溶液の pH⁶⁻⁷⁾ と溶存酸素濃度⁸⁾ (以下, DO) の低下が指摘されていることから, 炭酸ガス濃度と pH および DO の関係を検討した。

材料と方法

供試魚 沿岸で漁獲されたサケを活魚で入手すること

が困難であったため, 2006年9月25日に (社) 十勝釧路管内さけます増殖事業協会釧路川捕獲場で捕獲した50尾のうち, 本試験では河川に入ってから期間が短いと思われる婚姻色の薄いサケ18尾 (尾叉長 69.8 ± 4.0 cm, 体重 4.2 ± 0.9 kg) を使用した (表1)。

供試魚の輸送および水温, 塩分馴致 捕獲したサケは直ちにタンク (水量約4kℓ) に収容し, トラックで厚岸栽培技術開発センター (以下, センター) まで輸送した。輸送時間は1時間20分であった。輸送中はタンク内の塩分濃度を13psu とし, 塩分馴致させた。センター到着後はさらに水温, 塩分の馴致を行い, タンク (水温 7.4°C , 塩分濃度13psu) と17kℓ水槽 (同 16.2°C , 33psu) の水を水中ポンプで30分間循環させ, タンク内の水温が 13.7°C , 塩分濃度が28psu となった時点で, 水槽1面に50尾全てを収容した。飼育水は100%海水を使用し, 注水量は1kℓ/時間とし, 酸欠を防止するため強通気にした。サケを落ち着かせるため, 収容後は水槽の上面を青色のビニールシートで覆って14時間安静を保ち, 試験は9月26日に行った。

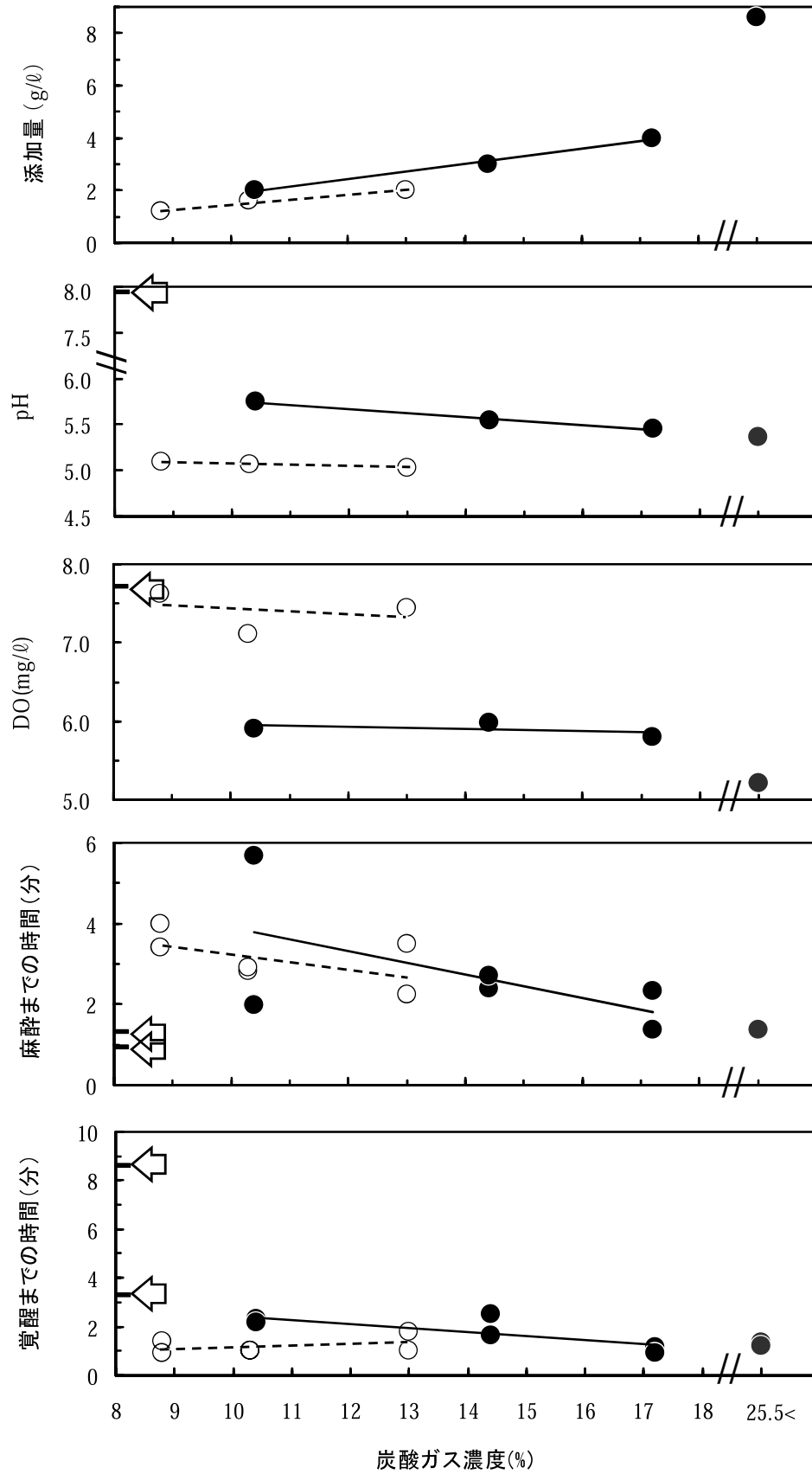
炭酸ガス源 炭酸ガス発泡剤 (以下, 発泡剤) は, 渡辺⁵⁾ に従い, 食品添加物であるコハク酸 (扶桑化学工業), 重曹 (松井喜一商店), グリセリン (坂本薬品工業) から作製し, ドライアイスは市販の食品冷却用を使用した。

表1 発泡剤およびドライアイスを用いたサケ親魚の麻酔試験

試験区	麻酔剤	投入量	供試尾数	供試個体	
				尾叉長 (cm) / 体重 (kg)	
対照区	FA100	0.25mℓ/ℓ	2	①65.0 / 3.3	②70.5 / 4.2
1	発泡剤	1.2g/ℓ	2	①67.0 / 3.4	②67.0 / 4.1
2	発泡剤	1.6g/ℓ	2	①69.0 / 3.9	②77.0 / 6.2
3	発泡剤	2.0g/ℓ	2	①73.5 / 4.9	②74.0 / 5.2
4	ドライアイス	2.0g/ℓ	2	①68.0 / 3.6	②69.0 / 4.0
5	ドライアイス	3.0g/ℓ	2	①69.0 / 3.9	②7.00 / 4.2
6	ドライアイス	4.0g/ℓ	2	①66.0 / 3.5	②73.0 / 5.0
7	ドライアイス	8.6g/ℓ	2	①61.0 / 2.9	②76.0 / 5.6

* 発泡剤は, コハク酸と重曹を1:1で混合し, 合計重量の10%のグリセリンを固化剤として添加して作製

* 発泡剤は砕かずに水中に投入したが, ドライアイスは細かく粉碎した



○：発泡剤，●：ドライアイス，左縦軸の矢印は対照区（FA100）の結果。
 なお，炭酸ガス濃度はドライアイス8.6g/lでは25.5%以上で測定不能，FA100は0%

図1 麻酔剤の添加による炭酸ガス濃度と pH，DO および麻酔と覚醒に要する時間

水中に添加後、発泡剤は、コハク酸と重曹の主成分である炭酸水素ナトリウムの反応の効率を上げるために砕かずに、ドライアイスは短時間で昇華させるために粉碎した。

試験区の設定 試験区を表1に示した。試験区は、それぞれ炭酸ガス源として発泡剤を1.2g/ℓ、1.6g/ℓおよび2.0g/ℓを添加する区とドライアイスを2.0g/ℓ、3.0g/ℓ、4.0g/ℓおよび8.6g/ℓを添加する区の7区を設けた。対照区として、FA100を0.25mℓ/ℓ（1/4,000）を添加する区を設けた。試験には200ℓ水槽（サンボックス#200；三甲）を用い、水量は100ℓとした。各試験区の供試尾数は、2尾とした。

環境測定 作製した麻酔液は、直ちに炭酸ガス濃度（CGP-1；TOA DKK。測定範囲0～25.5%）、pH（HM-14P；TOA DKK）およびDO（DO-14P；TOA DKK）を測定した。

麻酔および覚醒方法 麻酔液にはサケ2尾を同時に収容し、個体毎の麻酔までの時間をストップウォッチで計測した。麻酔状態となったサケはただちに持ち上げて流水状態にした覚醒用の200ℓ水槽（麻酔用と同型）に収容し、収容から覚醒までの時間を計測した。麻酔と覚醒の定義はBernier & Randall³⁾に従い、麻酔は平衡を失って体は動かないが呼吸頻度は通常と変わらない状態（Stage of anaesthesia II）、覚醒は体が平衡になった状態（Stage of recovery II）とした。

結 果

麻酔剤添加による環境変化 各試験区の炭酸ガス源の添加量による炭酸ガス濃度とpHおよびDOの変化を図1に示した。麻酔効果の指標である炭酸ガス濃度は、発泡剤、ドライアイスとも添加量の増加に伴って上昇する傾向が認められ、発泡剤では最大量を添加した2.0g/ℓ区で13.0%であった。ドライアイスでは増加傾向が顕著であり、4g/ℓ区で17.2%に達し、最大量の8.6g/ℓ区では測定範囲外（25.5%以上）となった。

飼育海水および対照区（FA100添加）のpHは7.93であった。発泡剤の添加により、pH値は5.1以下に低下したが添加量（炭酸ガス濃度）の増加に伴う変化は少なかった。一方、ドライアイスではpH値は発泡剤より高かったが添加量の増加に伴う低下が認められた。

DOは、発泡剤では7.11～7.63mg/ℓで添加量の増加に伴う変化は認められず、さらに対照区（FA100）の7.71mg/ℓとの差は小さかった。一方、ドライアイス2.0～4.0g/ℓでは、添加量の増加に伴う変化はほとんど認められなかったが5.21～5.98mg/ℓと対照区と比べて著しく低く、

添加量8.6g/ℓでは5.21mg/ℓとなり低下した。

麻酔および覚醒に要する時間 炭酸ガス濃度と麻酔および覚醒までに要する時間を図1に示した。対照区（FA100）の麻酔時間は、56秒と1分18秒であった。これに対して、発泡剤とドライアイスでは個体差は大きいが麻酔までの時間は炭酸ガス濃度の上昇に伴って短くなり、発泡剤で最も効果が得られたのは2.0g/ℓ区（炭酸ガス濃度13.0%）の2分14秒と3分29秒、ドライアイスでは8.6g/ℓ区（炭酸ガス濃度25.5%以上）の1分20秒と1分23秒であった。炭酸ガスによる麻酔は、各試験区とも効果が認められたが対照区より長時間を要し、ドライアイス8.6g/ℓ区でのみ同程度の効果が得られた。

覚醒時間は、対照区の3分17秒と8分37秒に対して、発泡剤とドライアイスでは56秒～2分31秒と短く、個体差が認められたが、炭酸ガス濃度にはほとんど影響されなかった。

考 察

麻酔に要する時間は、ニジマスでは炭酸ガス濃度が高いほど短縮することが知られており³⁾、本試験で使用した発泡剤、ドライアイスともに炭酸ガス濃度は添加量の増加に伴って上昇し、麻酔時間は短縮した。

今回の試験で、FA100と同程度の麻酔効果が得られたのはドライアイスの添加量8.6g/ℓのみであった。この時の炭酸ガス濃度は、濃度計の測定範囲外であったが、添加量（2～4g/ℓ）と炭酸ガス濃度（10.4～17.2%）の相関（ $y=0.29x-1.08$ 、 x ：炭酸ガス濃度、 y ：添加量、 $R^2=0.99$ ）から33.4%と推定された。また、海水中の炭酸ガス分圧とpHには負の関係が認められており⁶⁻⁷⁾、本試験における両者の相関（ $y=-0.04x+6.21$ 、 x ：炭酸ガス濃度、 y ：pH、 $R^2=0.98$ ）からは21.3%と算出された。両式からの推定値には10%以上の差があるが、サケに短時間で麻酔効果が得られる炭酸ガス濃度は、濃度計の上限付近と考えられた。この濃度は本試験では明らかに出来なかったが、濃度によって麻酔効果が異なることから、正確な濃度を把握する必要がある。

一方、炭酸ガス濃度が不明であっても、ドライアイス添加量8.6g/ℓとpH5.36を目安に麻酔を行えば効果が得られると考えられるが、炭酸ガスの溶解度⁷⁾やpH⁹⁾は水温や塩分濃度によって変化することが知られている。従って、ドライアイスを用いた麻酔法を確立するためには、まず短時間で効果の得られる炭酸ガス濃度を特定し、さらに麻酔効果の簡便な目安として使用海域での水質（塩分濃度、水温）を想定し、炭酸ガス濃度とドライアイス添加量およびpHの関係を把握する必要がある。

炭酸ガスによる麻酔時には、炭酸ガス濃度の上昇により DO が低下する⁸⁾ ため、魚への安全性を考慮して酸素通気が行われる場合^{3, 6, 10)} があるが、本試験では簡便性を重視し行わなかった。その結果、DO 値は発泡剤では対照区と同程度であったが、ドライアイスでは6mg/ℓ以下に低下した。これは、炭酸ガスの発生が発泡剤では微細な気泡であったのに対して、ドライアイスでは添加により海水が激しく炭酸ガス曝気されたため、酸素が発散した可能性が考えられた。ドライアイスによる麻酔液の DO 値は、サケの水産用水基準である7mg/ℓ¹¹⁾ 以下であったが、蓄養池におけるサケ親魚の死亡が報告されている3mg/ℓ¹²⁾、蓄養時の最低安全溶存酸素量とされる3.5mg/ℓ¹³⁾ までの低下はなかった。炭酸ガス麻酔中のコイでは酸素が十分ある状態でも酸素欠乏にあることが指摘されており¹⁰⁾、さらに長時間の麻酔後には鱗の脱色や眼球の混濁が観察されている⁶⁾。今回の試験の範囲では DO の低下による顕著な目立った弊害はなかったが、今後は麻酔時の酸素消費量の把握や酸素欠乏による弊害の検討が必要と考えられる。

本試験では全ての供試魚は覚醒し、覚醒に至る時間はいずれの炭酸ガス濃度も対照区の FA100 よりも著しく短時間であった。しかし、ニジマス³⁾ ではストレスにより覚醒率の低下が知られていることから、サケにおいても魚の状態によって有効濃度や致死濃度が変化することも考えられるため、麻酔時には注意を要する。

発泡剤では、今回の試験の範囲では FA100 と同程度の麻酔効果が得られる添加量および炭酸ガス濃度は明らかに出来なかったが、添加量を増やすことで麻酔効果が得られる可能性があると考えられた。発泡剤の利点として、ドライアイスと異なり、作製が容易で常温で保存可能という点が挙げられるため、今後はさらに利用技術を開発するとともに承認医薬品としての承認が望まれている。

謝 辞

北海道区水産研究所栽培技術研究室の皆様には快く試験場所をお貸し頂き、また試験にあたって多大なるご協力を頂きました。(社)十勝釧路管内さけます増殖事業協会には供試魚の捕獲および輸送をして頂きました。さけますセンター千歳事業所には試験にあたって事前の検討にご協力頂きました。さけますセンター技術開発室の皆様および千歳事業所大本謙一氏には試験方法についてア

ドバイスを頂きました。深くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 農林水産省消費・安全局畜水産安全管理課 (2006) 水産用医薬品の使用について. 第20報, p. 24.
- 2) Fish, F.F. (1943) The anaesthesia of fish by high carbon dioxide concentrations. *Transactions of the American Fisheries Society*, **72**, 25-29.
- 3) Bernier, N. J., and D. J. Randall (1998) Carbon dioxide anaesthesia in rainbow trout: effects of hypercapnic level and stress on induction and recovery from anaesthetic treatment. *Journal of Fish Biology*, **52**, 621-637.
- 4) Gilderhus, P. A., and L. L. Marking (1987) Comparative efficiency of 16 anesthetic chemicals on rainbow trout. *North American Journal of fisheries Management*, **7**, 288-292.
- 5) 渡辺研一 (2007) 炭酸ガス発泡剤のヒラメ稚魚に対する麻酔効果. 日水誌, **73**, 287-289.
- 6) 竹田達右・板沢靖男 (1983) 二酸化炭素麻酔の活魚輸送への応用可能性の検討. 日水誌, **49**, 725-731.
- 7) 猿橋勝子 (1970) 炭酸ガスと炭酸物質. 「海水の化学」(堀部純男編), 東海大学出版会, 242-269.
- 8) 隆島史夫 (1989) 魚の麻酔Ⅱ. 麻酔の実際②. 水産の研究, **42**, 99-102.
- 9) 石井雅男・吉川久幸・松枝秀和 (2000) 炭酸系の気液平衡と化学平衡. 電量滴定法による海水中の全炭酸濃度の高精度分析および大気中の二酸化炭素と海水中の全炭酸の放射性同位体比の測定. 気象研究所技術報告, **41**, 5-7.
- 10) Itazawa, Y., and T. Takeda (1982) Respiration of carp under anesthesia induced by mixed bubbling of carbon dioxide and oxygen. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **48**, 489-493.
- 11) 日本水産資源保護協会 (2006) 溶存酸素 (DO). 水産用水基準 (2005年版), 16-19.
- 12) 江口 弘・栗倉輝彦 (1964) 酸素収支からみた養魚池への適正放養尾数の算出について. 魚と卵, **107**, 7-9.
- 13) 戸叶 恒 (1984) 親魚の蓄養用水の観察—千歳川の場合—. 魚と卵, **154**, 13-16.