

魚類呼吸中樞ノ炭酸ニ對スル感受性ニ就テ

岡山醫科大學生理學教室(主任生沼教授)

吉 栖 生 一

本論文ノ梗概ハ昭和4年7月第8回大日本生理學會ニ於テ之ヲ演述セリ。

内 容 目 次

第1章 緒 言	第1節 實驗方法
第2章 水道水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ニ及ボス炭酸ノ影響	第2節 實驗成績
第1節 實驗材料及ビ其ノ方法	第6章 哺乳動物殊ニ二十日鼠ノ呼吸ニ及ボス炭酸ノ影響
第2節 實驗成績	第1節 實驗方法
第3章 水道水及ビ重曹水ノ炭酸含有量ト炭酸張力トノ關係	第2節 實驗成績
第1節 實驗方法	第7章 鯉及ビ山羊ノ血液内炭酸含有量ト炭酸張力トノ關係
第2節 實驗成績	第1節 實驗方法
第4章 重曹水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ニ及ボス炭酸ノ影響	第2節 實驗成績
第1節 實驗方法	第8章 總括並考案
第2節 實驗成績	第9章 結 論
第5章 水道水、重曹水及ビ海水ノ水素「イオン」濃度ト炭酸分壓トノ關係	主要文獻

第 1 章 緒 言

魚類呼吸ニ關スル研究ノ歴史ヲ溫ヌルニ、今ヨリ 228 年前即チ西曆 1701 年 Duverney¹⁾ガ初メテ魚類ノ呼吸機轉(Atemmechanismus)ニ就テノ學說ヲ發表セルニ始マリ、爾來斯學ノ研究ハ漸ク旺盛ニ趣キ、或ハ呼吸運動ノ Mechanismusニ關シ、或ハ呼吸中樞ノ性質乃至呼吸節調ノ調節(Regulation des Atemrhythmus)^(リズム)等ノ問題ニ就テ幾多研究者ノ論議討究スル所トナリ從テ其ノ業績モ亦尠シトセズ。就中 Gréhant 及ビ Picard (1873)²⁾ハ彼等ノ實驗ニ基キ魚類ノ呼吸運動ハ末梢刺激ニヨリ喚起セラルルモノニシテ呼吸運動ノ發現ハ高等及ビ下等脊椎動物ノ間ニ於テ原因的相違アルモノナリトシ、Schönlein 及ビ Willem (1895)³⁾等ハ板鰐魚類(Selachieren)ノ呼吸運動ハ反射作用タルヲ唱へ、Bethe (1903)⁴⁾更ニ同魚類ニ就テ實驗ヲ重ネ之ニ贊同シ血液瓦斯ノ量ハ魚類ノ呼吸運動ニハ毫モ原因ノ關係ナク水ト口腔粘膜及ビ鰓粘膜トノ觸接ニヨル末梢刺激ニヨリ發現スルモノナルコトヲ主張セリ。由來此反射作用說ハ一時世ノ注意ヲ惹クニ至レリ。其ノ後此臆説

ニ對シ疑義ヲ抱クモノ漸ク現ハレ Rynberk (1905) ⁵, Westerlund (1906)⁶, 石原氏 (1906)⁷, Kouliabko (1907)⁸ 等ハ相次デ實驗的研究ヲ重ネ Bethe 等ノ說ヲ批判シ之ニ反對スルニ至レリ。殊ニ Kouliabko ノ身體ヨリ切斷セル魚頭部ニ人工灌流ヲ行ヒ呼吸運動ヲ保持セシメ炭酸ヲ直接神經中樞ニ作用セシメ、呼吸困難ヲ起サシメタル實驗ハ寧ロ人ヲシテ魚類呼吸中樞ト血液内炭酸瓦斯トノ關係ハ同溫動物ト相異ナラザルヲ推定セシメ Bethe 等ノ說ニ對シ有力ナル反證ヲ裏書シタルモノト云フヲ得ベシ。爾來魚類呼吸運動ノ原因ニ關スル反射作用說ハ漸次其ノ影ヲ潜ムルニ至レリ。

莫遮、魚類呼吸中樞ノ興奮ハ哺乳動物ト同様其ノ内界自己刺戟トシテ直接ニハ血液内炭酸ノ蓄積即チ水素「イオン」濃度ノ變化ニヨリ影響セラルルヤ否ヤノ問題ニ關シテハ由來呼吸中樞自働機存在ノ有無ト相俟ツテ幾多ノ學者ニヨリ研究論議セラレタル所ナレ共從來ノ數多ノ實驗ハ満足ナル結果ヲ得ズシテ止ミス。即チ石原氏 (1906)⁷, Westerlund (1906)⁶, Kniper (1907)⁹, Bubák 及ビ Dedek (1907)¹⁰ 其ノ他幾多ノ研究者ノ實驗ノ結果ハ同様ニ皆水中ニ於ケル炭酸ハ魚類ノ呼吸ニ對シ恰モ興奮作用ナキガ如キ結論ニ到達セリ。其ノ後 Reuss (1910)¹¹ ハ適當ナル検査方法ニ依リ前記諸氏ノ實驗方法ノ缺點ヲ補ヒ魚類ニ於ケル呼吸運動ノ原因ニ關スル疑問ヲ解決セントシ炭酸ノ呼吸ニ及ボス影響ヲ再試シ CO₂ ガ水 1 L 中 25—32 mg ノ際ハ呼吸困難ヲ來シ 50—83 mg ニ至レバ身體均衡ヲ失シ 88—107 mg ニ至レバ持續的背位ヲ取ルニ至ル。即チ CO₂ ノ濃度ガ一定範圍迄増加スルニツレ夫レニ伴ヒ呼吸數ノ増加ヲ來シ其ノ點ヲ越エル時ハ麻痺性ニ作用スルヲ見、CO₂ ノ作用ハ大量ニ於テハ高等脊椎動物ニ於ケルガ如ク魚類ニ於テモ亦刺戟作用ヲ有シ皆テノ脊椎動物ト同様最初呼吸ノ大サヲ増シ次デ呼吸困難ノ性質ヲ帶ビ來ルト結論セリ。Roaf (1912)¹² ハ海水魚ニ就テ水素「イオン」及ビ CO₂ ノ影響ヲ實驗シ呼吸數ハ水素「イオン」濃度ノ増加ニヨリ増シ海水ニ重曹ヲ附加スルコトニヨリ CO₂ ノ張力ニ無關係ニ水素「イオン」濃度ヲ變化セシメ得テ呼吸ニ對スル CO₂ ノ影響ハ其ノ結果ニ因スル水素「イオン」濃度ニヨルモノナリト云ヘリ。吉田氏 (1920)¹³ ハ Kouliabko ニヨリ行ハレタル實驗方法ヲ改良シ適當ナル灌流液ヲ得テ胸ヨリ切斷分離セル鯉魚ノ頭部ニ人工灌流ヲ行ヒ長時間ノ實驗ヲ試ミ、呼吸中樞ハ自働的ニ興奮スルモノニシテ CO₂ ハ呼吸困難ヲ生ゼシムト云ヘリ。我教室奥山博士 (1923)¹⁴ ノ研究ニヨレバ水中ニ自由ニ游泳セルはや (*Zacco platypus* (T & S)) ノ呼吸ニ對スル CO₂ ノ實驗ニ際シ水中ノ CO₂ ヲ漸次増加セシメ大約 4.5% 大氣壓即チ 34 mm Hg ニ至リ魚類ガ殆ド假死ノ状態ニ陥ルモ尙ホ呼吸數ニ變化ナカリシト云フ。

之ヲ要スルニ魚類呼吸中樞ニ對スル CO₂ ノ影響ニ關シテハ諸家ノ見ル所今尙ホ區々ニシテ歸著スル所ヲ知ラザルモノノ如シ。茲ニ於テ余ハ魚類呼吸中樞ニ對シ CO₂ ハ如何ナル役目ヲ演ズルモノナリヤ鯉ヲ以テ實驗材料トシ此關係ヲ一層精細ニ觀察シ更ニ進ンデ先人ノ餘リ手ヲ染メザリシ血液内炭酸瓦斯ニ就テ其ノ消長ヲ窺ヒ且之等ヲ數量的ニ取扱ヒ以テ魚類呼吸ニ及ボス炭酸ノ感受性ヲ闡明セントス。

第 2 章 水道水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ニ及ボス炭酸ノ影響

第 1 節 實驗材料及ビ其ノ方法

實驗材料トシテハ當地方ニ産スル鯉 (*Cyprinus Carpio* L.) ヲ使用シ實驗ニ當リ魚體ノ大小ニヨル實驗成

續ノ影響ヲ可及的免レンガ爲メニ殆ト同一體重ヲ有スルモノ又ハ之ニ近キモノヲ蒐集センコトニ意ヲ用キ大約 610 g—700 g 前後ノモノヲ選ベリ。

實驗方法トシテハ長サ 58 cm 幅 22 cm 高サ 25 cm 位ノ硝子貼り水槽ヲ使用シ、常ニ高サ約 20 cm ニ至ル迄水ヲ盛り其ノ中ニ鯉ヲ入レ周圍ヲ靜肅ニ保チ光線、音響、波動等ノ外部刺戟¹⁵⁾ヲ避ケ尙ホ從來多數ノ觀察者ノ行ヒタル固定法ニヨラズ水中ニ自由ニ游泳セシメ豫メ蠟引キセル薄キ板ヲ蓋トシテ水ニ密着セシメ空氣ト水トヲ遮斷シ蓋ニハ檢水ヲ取ルニ便ナル様小孔ヲ穿テ「ゴム」栓ヲ施ス。斯クシテ水道水中ニ於ケル鯉ノ正常呼吸ノ行動ヲ觀察シ、次デ豫メ空氣中ノ酸素ヲ充分飽和セシメタル水道水ニ色々ノ割合ニ CO₂ヲ含有セシメ、(大約 80%ヲ含有スル Bombe ヨリ炭酸瓦斯ヲ水道水中ニ放出セシメ振盪溶解、適宜ノ CO₂含有水道水トナス)之ヲ以テ前ノ水道水ト取り換へ、更ニ呼吸ノ行動ヲ窺ヒ一定時間後豫メ準備セル注射器ニヨリ鯉ノ心臟ヲ穿刺シ空氣ト血液トノ接觸ヲ避ケルコトニ努メ、所要ノ血量ヲ採取シ之ヲ Barcroft 氏血液瓦斯分析器ヲ用キ血液中ニ於ケル CO₂ノ量ヲ測定セリ。血液ノ凝固ヲ防止スル爲メ尿酸曹達ノ飽和液ニテ注射器ヲ洗滌シ尙ホ極メテ少量ノ同藥粉末(血液 1ccニ對シ 0.003 gノ割合)ヲ注射器中ニ入レ完全ニ其ノ目的ヲ達スルヲ得タリ。鯉ノ心臟穿刺ハ前鱗ノ中間部ニ於テ約 2.5 cm 位ノ切開ヲ加へ出血セザル様細心注意ヲナシツツ速ニ心臟ヲ露出シ心室ニ注射針ヲ刺シ目的ヲ達ス。

術ハ皆テ約 2 分間ニ終ル。斯クシテ 610g—700 g 前後ノ鯉ニアリテハ 2 cc 餘ノ血液ヲ採取スルコトヲ得。又水中ニ於ケル CO₂ハ試驗ノ前後ニ於テ之ヲ測定セリ。

水中ニ於ケル遊離炭酸ヲ直接ニ測定スルニハ Trillich, Warburg, Krogh, Pettenkofer 等ノ方法アレ共或ハ其ノ操作繁雜ニシテ此目的ニ適セス、或ハ其ノ成績甚ダ正確ナリトハ云ヒ難キヲ以テ余ハ寧ロ van Slykeノ裝置¹⁶⁾ヲ利用シ海水ノ總炭酸量ヲ測定シタル MoClendon¹⁷⁾ノ方法ヲ應用シ水中ノ總炭酸量ヲ測定シ其ノ結果ト次章ニ述ブル水中炭酸含有量ト炭酸張力トノ關係成績ト相比較シテ其ノ總炭酸量ニ相當スル炭酸ノ張力ヲ間接ニ算出セリ。

今水中ニ於ケル總炭酸量測定法ヲ簡單ニ述ベンニ次ノ如シ。即チ Van Slyke 裝置ヲ利用シ檢水 2 cc ヲトリ更ニ 2 normal HCl Lösung 0.5 cc ヲ加へ溶血瓦斯定量法ト同様ニ操作シ瓦斯ヲ發生セシム。然ル後發生セル瓦斯ノ容積ヲ讀ミ Normal NaOH Lösung (CO₂ frei ノモノ) 0.5 cc ヲ以テ CO₂ヲ吸收セシメ前後ノ容積ノ差ハ即チ求ムル所ノ CO₂ノ量ナリ。其ノ後ノ計算ハ Van Slyke ノ方法ニ從ヒ之ヲ算出セリ。

第 2 節 實 驗 成 績

實驗前程トシテ水道水中ニ於テ自由ニ游泳セル鯉ヲ取り出シヒ文記載ノ方法ニヨリ心臟ヨリ血液ヲ採取シ血液内炭酸含有量ヲ測定セルニ其ノ成績大約次ノ如シ。

第 1 表

實 驗 例	鯉ノ體重 (g)	CO ₂ ノ Vol %
I	620	51.35
II	720	50.80
III	580	51.58

次ニ水道水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ニ及ボス CO₂ ノ影響ニ就テノ成績ハ第2表ニ示スガ如シ。

第 2 表

實驗月日	實驗番號	實驗中ニ於ケル水槽ノ溫度 °C	鯉ノ體重 g	水中ニ於ケル總炭酸ノ%	炭酸ノ張力 mm Hg	血液内炭酸ノ%	呼吸數ノ増加
23/III	8	12	710	2.38	7	49.58	—
26/ノ	9	10	610	4.17	23	51.98	—
18/ノ	6	10	550	4.48	26	56.82	+
19/ノ	7	10	720	5.34	34	57.96	+
25/I	1	6—7	570	5.83	39	57.24	+
16/III	5	9	730	6.59	46	57.30	+
8/ノ	2	7	740	6.65	47	58.64	+
14/ノ	4	6	710	10.56	81	60.59	+
9/ノ	3	8	750	15.15	117	67.18	+

(註) 炭酸ノ張力ハ第3章第2節ニ記載ノ成績ニ基キ總炭酸ニ相當スル價ヲ間接ニ示ス。呼吸數ノ増加欄ニ於テハ増加ヲ示シテハ變化ナキヲ示ス。

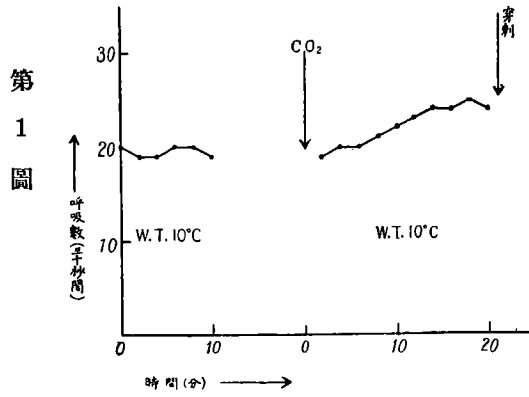
實驗例 8, 9 ニ於テハ呼吸數ヲ増加セザルモ其ノ他ノ實驗例ニ於テハ CO₂ ノ影響ヲ受ケ呼吸數ノ増加ヲ認メ鰓蓋開閉運動增強ス。即チ水中ニ於ケル CO₂ ノ含有量ガ漸次増加シ 4.48% トナリ從テト平衡状態ヲ持スル瓦斯混合空氣中ノ CO₂ ノ張力 26 mm Hg 以上ニ至レバ鯉ノ呼吸中樞ハ興奮セラレ呼吸數ノ増加ヲ來ス。

次ニ實驗例ノ中主ナルモノ 2, 3 ヲ更ニ詳記スレバ次ノ如シ。

第 3 表 Nr. 7 19/III. 1929. Cyprinus Carpio L. Gewicht : 720 g

時 間	水槽ノ溫度 °C	呼 吸 數 Pro 30"	備 考	
3° 0' P. M.	10	20	普通ノ水道水中ニ置ク. Gesamt CO ₂ 1.42%	
2'		19		
4'		19		
6'		20		
8'		20		
10'		19		
3° 20' P. M.	10	—	CO ₂ 含有水道水ニ換置. Gesamt CO ₂ 5.34%	
22'		19		
24'		20		
26'		20		
28'		21		
30'		22		→ 側位ヲトル
32'		23		
34'		24		
36'		24		
38'		25		
40'		24		
41'		—		

呼吸數ノ關係ヲ曲
線ヲ以テ表ハス時ハ
右ノ如シ。

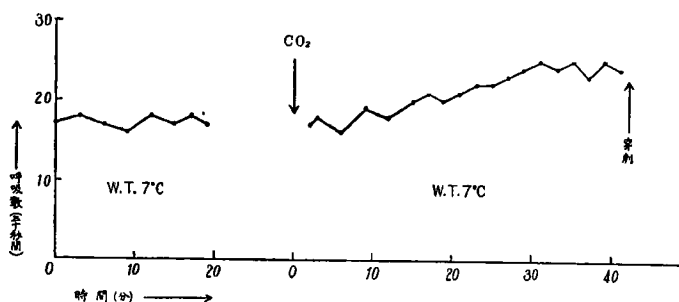


第 4 表 Nr. 2 8/III. 1929. Cyprinus Carpio L. Gewicht : 740 g

時 間	水槽ノ温度 °C	呼 吸 數 Pro 30%	備 考	
1° 30' P. M.	7	17	普通ノ水道水ニ置ク. Gesamt CO ₂ 1.35%	
33'		18		
36'		17		
39'		16		
42'		18		
45'		17		
47'		18		
49'		7		17
2° 20' P. M.	7	—	CO ₂ 含有水道水ニ換置. Gesamt CO ₂ 6.65%	
22'		17		
23'		18		
26'		16		
29'		19		
32'		18		
35'		20		
37'		21		
39'		20		
41'		21		→ 側位
43'		22		
45'		22		
47'		23		
49'		24		
51'		25		
53'	24			
55'	25			
57'	23			
59'	25			
3° 1'	7	24	穿刺. 血液内 CO ₂ 58.64 Vol %	
2'		—		

更ニ呼吸數ノ關係ヲ曲線ニテ示ス時ハ次ノ如シ。

第 2 圖



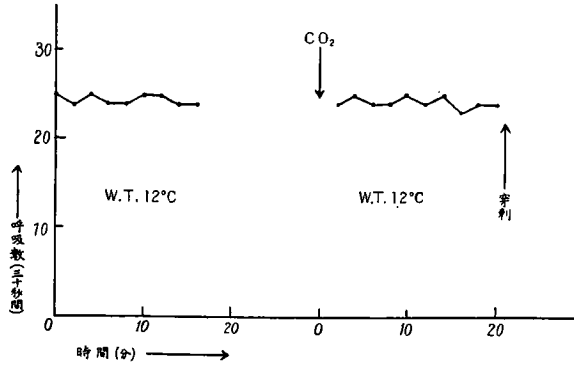
次ニ水中ニ於ケル CO₂ ノ含量ガ呼吸中樞ヲ興奮セシムルニ至ラザリシ實驗例ヲ示サン。即チ第5表及ビ第6表ハ之ヲ表ハス。

第 5 表 Nr. 8 23/III. 1929. Cyprinus Carpio L. Gewicht : 710 g

時 間	水槽ノ溫度 °C	呼 吸 數 Pro 30"	備 考
3—0' P. M.	12	25	普通ノ水道水中ニ置ク. Gesamt CO ₂ 1.43%
2'		24	
4'		25	
6'		24	
8'		24	
10'		25	
12'		25	
14'		24	
16'		12	
3—25' P. M.	12	—	CO ₂ 含有水道水ニ換置. Gesamt CO ₂ 2.38%
27'		24	
29'		25	
31'		24	
33'		24	
35'		25	
37'		24	
39'		25	
41'		23	
43'		24	
45'		24	
46'	12	—	穿刺. 血液内 CO ₂ 49.58 Vol %

呼吸數ヲ更ニ曲線ニテ表ハス時ハ次ノ如シ.

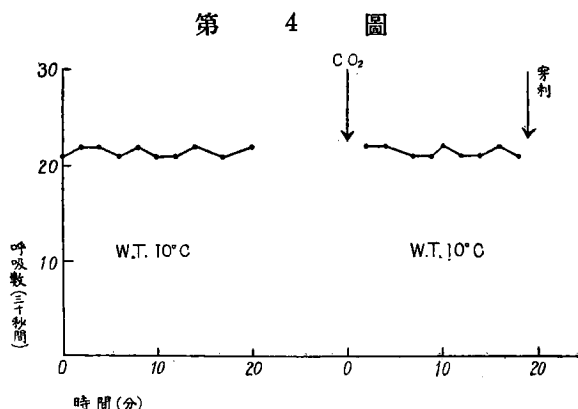
第 3 圖



第 6 表 Nr. 9 26/III. 1929. Cyprinus Carpio L. Gewicht : 610 g

時 間	水槽ノ温度 °C	呼 吸 數 Pro 30'	備 考
9° 30' A. M.	10	21	普通ノ水道水中ニ置ク. Gesamt CO ₂ 1.40%
32'		22	
34'		22	
36'		21	
38'		22	
40'		21	
42'		21	
44'		22	
47'		21	
50'		10	
10° 17' A. M.	10	—	CO ₂ 含有水道水ニ換置. Gesamt CO ₂ 4.17%
19'		22	
21'		22	
24'		21	
26'		21	
27'		22	
29'		21	
31'		21	
33'		22	
35'		21	
36'	10	—	穿刺. 血液内 CO ₂ 51.98 Vol %

呼吸數ノ關係ヲ更ニ圖示スレバ次ノ如シ。



前記ノ實驗成績ヲ通覽スルニ水中ニ於ケル總炭酸ノ含量 4.17% 即チ之ト瓦斯ノ平衡狀態ヲ維持セル空氣中ノ CO_2 ノ張力略ボ 23 mm Hg 迄ハ普通ノ水道水中ニ於ケル正常呼吸ト同様ナル行動ヲトリ其ノ數ニ於テモ亦其ノ深サニ於テモ何等變化ナク口裂僅ニ開キ鰓蓋ノ閉鎖運動モ淺表ナリ。其ノ際ニ於ケル血液内 CO_2 ノ含有量モ正常ノモノト比較シテ大差ナシ。水中ニ於ケル CO_2 ヲ漸次増加シ總炭酸ノ含量 4.48% 以上夫レニ相當スル CO_2 ノ張力 26 mm Hg 以上ニ至レバ呼吸數ノ増加ヲ來シ口裂ノ開口顯著トナリ鰓蓋ノ閉鎖運動モ亦增強ス。此際ニ於ケル血液内 CO_2 ノ含有量ハ正常ノモノニ比シ増加セリ。水中ニ於ケル CO_2 ノ含有量尙ホ増加スル時ハ約 5—10 分間ニシテ鯉ハ側位又ハ背位ヲトリ一時呼吸ノ數及ビ其ノ強サヲ増スモ暫時ニシテ其ノ數ヲ減ジ鰓蓋閉鎖運動亦微弱トナル。

上掲ノ實驗ニ於テ觀ルガ如ク鯉ニ於テモ血中ノ炭酸量ノ増加ヲ來ス時ハ呼吸數ノ増加スルヲ觀ル。唯血中ノ炭酸量ヲ増加スルニ至ル時「メデウム」内ノ炭酸含量甚ダ大ナルヲ以テ一見魚類ハ炭酸ニ對シテ不感受性ヲ有スルガ如ク見ユルモ一度其ノ「メデウム」ノ炭酸張力ヲ測定スル時ハ人類肺胞氣内ノ炭酸分壓ヨリモ却ツテ僅ニ少キヲ觀ル。是レ水ハ幾分ノ炭酸ヲ其ノ張力ヲ増加スルコトナク包含シ得ルニヨル。殊ニ水中ニ重炭酸曹達ノ如キ緩衝鹽類ヲ含有スル時ハ其ノ量ノ多キ程多量ノ炭酸ヲ包含シ得ル理ナリ。以下此點ニ關シ 2, 3 ノ實驗ヲ試ミタレバ其ノ成績ヲ述ベン。

第 3 章 水道水及ビ重曹水ノ炭酸含有量ト炭酸張力トノ關係

第 1 節 實驗方法

種々ノ割合ニ CO_2 ヲ含有スル空氣ヲ内容約 310 cc ノ Barcroft 氏 Tonometer 内ニ入レ其中ニテ約 10 cc 位ノ水ト瓦斯ノ交換ヲ行ハシメ瓦斯ノ平衡狀態ヲ來サシム。即チ Tonometer ヲ水槽中ニ置キ溫度ヲ一定ニ保チ之ヲ常ニ廻轉シツツ其ノ中ニテ廣キ面積ニ於テ瓦斯混合空氣ガ水ト接觸スル様ナシ平衡狀態ニ至リタル時即チ大約 1 時間ノ後 Tonometer 内ノ壓力ヲ検査ス。之ニハ Tonometer ヲ水壓計ニ連結シ其水壓ヲ知り

之ヲ水銀壓ニ換算シ當時ノ氣壓ニ増減シ水槽ノ溫度ニ相當スル水蒸氣ノ壓力¹⁸⁾ヲ更ニ減ジ以テ Tonometer 内ノ壓力ヲ知ル即チ次式ニヨリ之ヲ算出セリ。

$$H = H' - f \pm \frac{h}{13.59}$$

H = Tonometer 内ノ壓力

H' = 當時ノ氣壓

f = t°C = 於ケル水蒸氣ノ壓力

h = 水柱ノ高さ mm

Tonometer 内ノ壓力ヲ測定セル後直ニ Tonometer 内ニ於ケル水ト瓦斯ノ平衡ヲ維持セル瓦斯混合空氣ヲ Haldane 氏瓦斯分析器ニテ分析シ CO₂ ノ量ヲ知り從テ CO₂ ノ張力ヲ知ル。即チ次式ニヨル。

$$P = \frac{H \times \text{CO}_2\%}{100} \text{ mm Hg}$$

P = CO₂ ノ張力

H = Tonometer 内ノ壓力

次ニ瓦斯混合空氣ト瓦斯ノ平衡状態ニ在リシ水ヲ Van Slyke 氏ノ裝置ヲ使用シ前記記載ノ方法ニ從ヒ水中ニ於ケル CO₂ ノ含有量ヲ測定セリ。水ト平衡状態ニ在リシ瓦斯混合空氣ニ於ケル CO₂ ノ張力ハ即チ水中ニ於ケル CO₂ ノ張力ニ相當ス。從テ第2章ニ於テ Van Slyke 氏裝置ヲ使用シ水中ニ於ケル CO₂ ノ總量ヲ測定セル成績ヨリシテ夫レニ相當スル CO₂ ノ張力ハ次節ニ示ス曲線圖(第5圖)ニヨリ間接ニ窺知スルコトヲ得タリ。Tonometer ヲ水槽ヨリ取り出セル後ノ操作ハ極メテ迅速ニ行フコトニ努メタルハ勿論ナリ。

以上ノ實驗方法ニ從ヒ水道水ニ就テ種々ナル割合ニ CO₂ ヲ含有スル空氣ト接觸セシメ CO₂ ノ張力ヲ檢索シ次テ Merck 製重曹ヲ 0.1, 0.2, 0.3 g 秤量シ之ヲ夫々水道水ニ溶解セシメ 1 L トナシタルモノヲ以テ各々重曹水ニ就キ再ビ前同様ノ實驗ヲ施行セリ。

Ringer 氏液ハ 0.01—0.03% ノ NaHCO₃ ヲ含有スルヲ以テ大約此量ヲ標準トシテ重曹ヲ水ニ溶解セルナリ

第 2 節 實 驗 成 績

水道水ニ就テ行ヒタル實驗成績ハ次ニ示スガ如シ。

第 7 表

CO ₂ % im Gasgemisch	Gesamt CO ₂ % im H ₂ O	CO ₂ -Spannung mm Hg
0.43	1.90	3.21
0.53	2.31	4.00
1.89	2.83	14.30
2.13	3.52	16.02
4.93	5.40	37.03
7.90	7.84	58.85
8.03	8.11	59.80
9.56	9.53	72.32
10.68	10.60	81.14

(註) 水槽ノ溫度 10°C—12°C

次ニ色々ノ割合ニ重曹ヲ含有スル水道水ヲ使用シテ CO₂ ノ張力ヲ試験セルニ其ノ成績ハ次ニ示スガ如シ。第8表乃至第10表ハ即チ之ヲ表ハス。

第8表 0.1% 重曹水ニ就テノ實驗成績

CO ₂ % im Gasgemisch	Gesamt CO ₂ % im H ₂ O	CO ₂ -Spannung mm Hg
0.97	2.52	7.21
1.17	2.60	8.82
2.23	4.61	16.80
2.43	4.63	18.25
2.61	5.84	19.33
4.12	6.32	30.41
4.98	7.41	36.64
8.13	10.20	60.91
9.31	11.00	68.40
9.37	11.23	69.23

(註) 水槽ノ溫度 10°C—10.5°C

第9表 0.2% 重曹水ニ就テノ實驗成績

CO ₂ % im Gasgemisch	Gesamt CO ₂ % im H ₂ O	CO ₂ -Spannung mm Hg
0.65	5.13	4.80
0.65	5.52	4.70
0.75	6.52	5.51
1.70	6.80	12.73
1.73	7.23	12.82
3.41	8.51	25.15
4.10	9.20	29.84
4.18	9.74	30.80
8.10	12.22	58.30
10.30	15.11	78.11
10.40	15.12	77.92

(註) 水槽ノ溫度 10°C—12°C

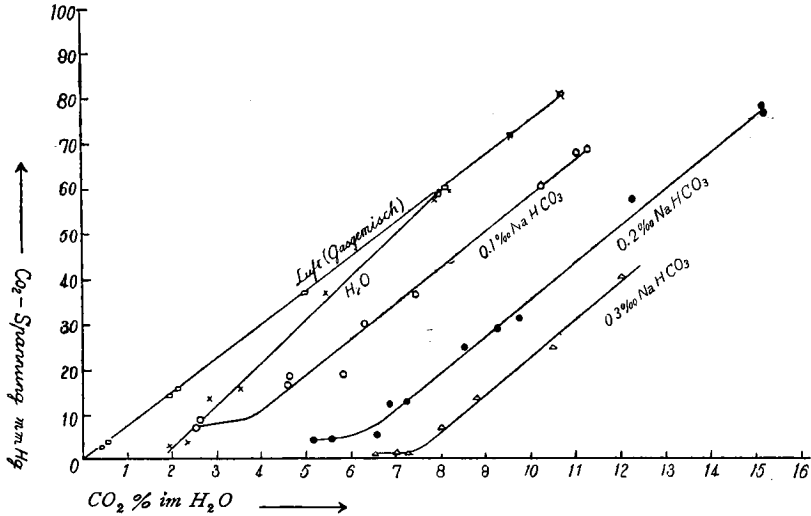
第10表 0.3% 重曹水ニ就テノ實驗成績

CO ₂ % im Gasgemisch	Gesamt CO ₂ % im H ₂ O	CO ₂ -Spannung mm Hg
0.20	6.50	1.51
0.21	7.00	1.63
0.32	7.23	2.32
0.95	8.01	7.22
1.70	8.84	13.84
3.40	10.52	25.20
5.50	12.00	40.72

(註) 水槽ノ溫度 10°C—11°C

更ニ此等ノ成績ヲ一括シテ曲線ニテ表ハス時ハ次圖ノ如シ。

第 5 圖



以上ノ實驗成績ヲ見ルニ水道水ニ於ケル CO_2 ノ張力ハ水中炭酸含量ニ正比スト雖モ其ノ含量大約 8% 以下ニ於テハ之ト平衡ヲ維持スル瓦斯混合空氣中ノ炭酸含量ヨリモ高く而モ炭酸含量少キ程其ノ差著シ。而シテ水道水ニ 0.1—0.3% ノ割合ニ重炭酸曹澁ヲ加フル時ハ其ノ量ニ應ジテ一定範圍ノ炭酸含量迄ハ水中ノ CO_2 張力ヲ増加セズ。其ノ點以上ハ其ノ張力ハ炭酸含量ニ正比スルヲ見ル。

第 4 章 重曹水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ニ及ボス炭酸ノ影響

第 1 節 實驗方法

上文記載ノ實驗成績ノ如ク重曹水中ニ於ケル CO_2 ノ張力ハ一定範圍ノ炭酸含量ニ至ル迄ハ増加セズ。其ノ點以上ハ其ノ張力ハ炭酸含量ニ正比スルヲ見タルヲ以テ CO_2 含有重曹水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ハ如何様ニ變化セラルルモノナリヤヲ窺知センガ爲メ Merck 製重曹 0.2 g ヲ秤量シテ水道水ニ溶解シ 1 L トセルモノヲ使用シ斯カル重曹水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ノ行動ヲ觀察シ次デ種々ノ割合ニ CO_2 ヲ含有セシメタル重曹水ト取り換ヘ再ビ同様呼吸ノ行動ヲ窺ヒ更ニ血液内ニ於ケル CO_2 ノ量モ亦測定セリ。其ノ他ノ實驗操作ハ第 2 章ニ述べタル所ノ如シ。

第 2 節 實驗成績

重曹水 (0.2%) ニ就テ行ヒタル實驗成績ノ中 2 例ヲ示セバ次ノ如シ。

第 1 例 14/V Cyprinus Carpio L. Gewicht : 505 g

先ヅ豫備試験トシテ水道水ヲ使用シ呼吸ノ行動ヲ觀察セリ。即チ次ノ如シ。

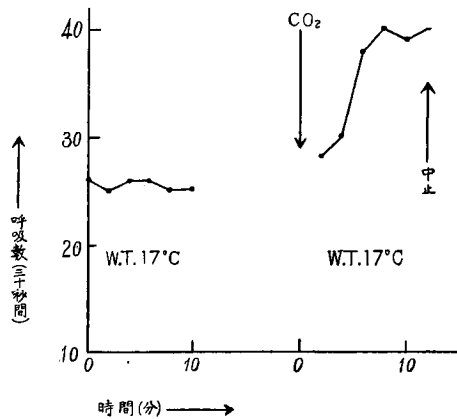
第 1 1 表

檢 査 時	水槽ノ温度 °C	呼 吸 數 Pro 30〃	備 考
11° 15' A. M.	17	26	普通水道水中ニ置ク. Gesamt CO ₂ 1.40%
17'		25	
19'		26	
21'		26	
23'		25	
25'		17	
11° 35' A. M.	17	—	CO ₂ 含有水道水ニ換置. Gesamt CO ₂ 6.95%
37'		28	
39'		30	
41'		38	
43'		40	
45'		39	
47'		40	

前表ニ見ルガ如ク水中 Gesamt CO₂ ノ含量 6.95%, CO₂ ノ張力略ホ 50 mm Hg ニ上リ從テ著明ニ呼吸數ノ増加ヲ來セリ.

尙ホ呼吸數ノ關係ヲ圖示スレバ次ノ如シ.

第 6 圖

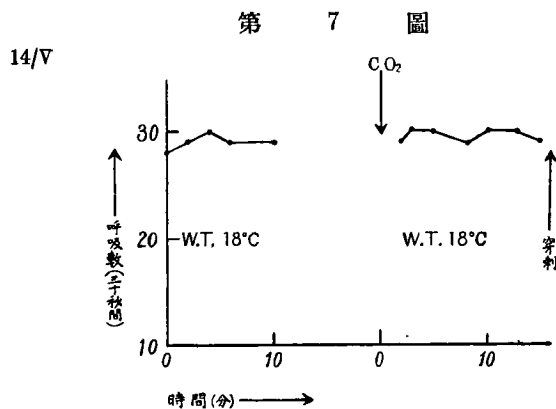


次ニ此經ヲ以テ重曹水ニ就テ行ヒタル實驗成績ハ次ニ示スガ如シ.

第 1 2 表

検 査 時	水槽ノ温度 °C	呼 吸 數 Pro 30'	備 考
2° 25' P. M.	18	28	0.2% 重曹水. Gesamt CO ₂ 3.69%
27'		29	
29'		30	
31'		29	
35'		29	
2° 45' P. M.	18	—	CO ₂ 含有重曹水 = 換置. Gesamt CO ₂ 8.12%
47'		29	
48'		30	
50'		30	
53'		29	
55'		30	
58'		30	
3° 0'	18	29	穿刺. 血液内 CO ₂ 49.68 Vol %
1'		—	

今呼吸數ノ關係ヲ更ニ圖示スレバ次ノ如シ.



前表ニ見ルガ如ク豫備試験ニ於ケル普通ノ水道水ノ際ハ水中ノ CO₂ ノ含量 6.95% ニシテ著明ノ呼吸數ノ増加ヲ見タルニ重曹水ニ於テハ水中ノ CO₂ ノ含量既ニ 8.12% ニ至ルモ尙ホ呼吸數ノ増加ヲ認メズ. 其ノ呼吸ノ行動ハ CO₂ ヲ通ゼザル重曹水中ニ於ケル際ト同様ニシテ血液内 CO₂ ノ含量ハ 49.68% ヲ算シ普通ノ鯉ト大差ナシ. 即チ此際ニ於ケル水中 CO₂ ノ張力ハ尙ホ略ボ 21 mm Hg ニ止リ未ダ血中ノ炭酸量ヲ増加セシムル程度ニ至ラザリシヲ以テナリ.

第 2 例 15/V *Cyprinus Carpio* L. Gewicht: 610 g

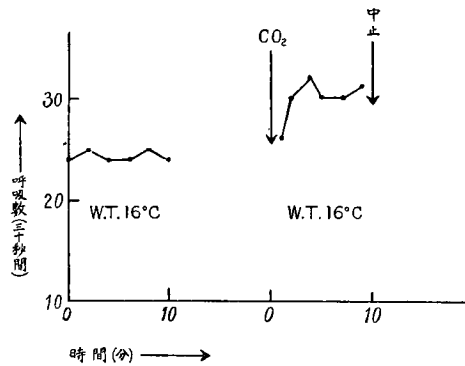
先ヅ豫備試験トシテ水道水ヲ使用シ行ヒタル實驗成績ヲ擧ゲンニ次ノ如シ.

第 1 3 表

檢 査 時	水槽ノ溫度 °C	呼 吸 數 Pro 30''	備 考
9° 15' A. M.	16	24	普通ノ水道水中ニ置ク. Gesamt CO ₂ 1.38%
17'		25	
19'		24	
21'		24	
23'		25	
25'		16	
9° 35' A. M.	16	—	CO ₂ 含有水道水ニ換置. Gesamt CO ₂ 7.46%
36'		26	
37'		30	
39'		32	
40'		30	
42'		30	
44'		31	
45'		16	

本例ニ於テハ前表ニ示スガ如ク水中ノ炭酸含量 7.46% 從テ CO₂ ノ張力略ボ 55 mm Hg ニシテ呼吸數ノ増加ヲ見ル. 更ニ呼吸數ノ關係ヲ圖示スレバ次ノ如シ.

第 8 圖



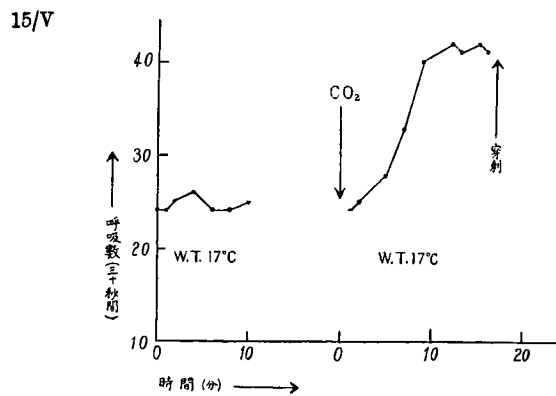
次ニ此鯉ヲ以テ重曹水ニ就テ行ヒタル實驗成績ハ次ニ示スガ如シ.

第 1 4 表

検 査 時	水槽ノ温度 °C	呼 吸 數 Pro 30//	備 考
10° 30' A. M.	17	24	0.2% 重曹水中ニ置ク. Gesamt CO ₂ 3.73%
31'		24	
32'		25	
34'		26	
36'		24	
38'		24	
40'		17	
10° 50' A. M.	17	—	CO ₂ 含有重曹水ニ換置. Gesamt CO ₂ 13.06%
51'		24	
52'		25	
55'		28	
57'		33	
59'		40	
11° 2'	17	42	穿刺. 血液内 CO ₂ 58.30 Vol %
3'		41	
5'		42	
6'		41	
7'		—	

呼吸數ノ關係ヲ更ニ圖示スレバ次ノ如シ.

第 9 圖



前表ニ明カナルガ如ク本例ニ於テハ重曹水中ニ於ケル Gesamt CO₂ ノ量 13.06% ニシテ呼吸數ノ増加ヲ見ル. 此際ニ於ケル血液内 CO₂ ノ量モ亦増加セリ. 即チ 58.30 Vol % ヲ算ス. 此場合ニ於テハ水中ノ CO₂ ノ張力ハ略ボ 61 mm Hg ニ至レルヲ以テ上記ノ如ク血中ノ CO₂ 量ヲ増加シ呼吸中樞ノ興奮ヲ惹起セシムルニ必要ナル水素「イオン」濃度ヲ越エタルモノト云フヲ得ベシ.

以上重曹水中ニ於ケル鯉ノ呼吸ニ及ボス CO₂ ノ影響ヲ通覽スルニ第1例ニ於テハ水道水ノ CO₂ 含有量 6.95% ニ於テ著明ニ呼吸數ノ増加ヲ來スモ 0.2% 重曹水中ニ於テハ水中 CO₂ ノ含有量 8.12% ニ至ルモ尙ホ呼吸數ノ増加ヲ來サズ。此際ニ於ケル血液内 CO₂ ノ含量ハ普通鯉魚ノモノニ比シ大差ナシ。

第2例ニ於テハ水道水ノ CO₂ 含量 7.46% 其ノ張力 55 mm Hg ニ於テ呼吸數ノ増加ヲ來シ 0.2% 重曹水ニ於テ CO₂ ノ含量 13.06% 其ノ張力 61 mm Hg ニテ同様著明ニ呼吸數ノ増加ヲ見ル。此際ニ於ケル血液内 CO₂ ノ含量ハ普通鯉魚ノモノニ比シ増加セリ。

第 5 章 水道水、重曹水及ビ海水ノ水素「イオン」濃度ト炭酸分壓トノ關係

既ニ第3章ニ於テ水道水及ビ重曹附加水道水ニ於ケル炭酸含有量ト炭酸張力トノ關係ヲ實驗探究セルヲ以テ茲ニ重複ノ恐レアレ共再ビ同様ノ實驗ヲ繰返シ水素「イオン」濃度ト如何ナル關係アリヤヲ見ンガ爲メ本實驗ヲ企テタリ。

第 1 節 實驗方法

實驗方法ハ第3章ニ記載セル方法ニ準ジ水道水、海水、重曹附加水道水(0.2%)ニ就テ實驗ヲ行ヒタリ。而シテ檢水ニ於ケル炭酸含有量及ビ炭酸張力ノ測定ハ全部前記方法ヲ製用シ水素「イオン」濃度測定ニ向ツテハ Tonometer 内ニテ瓦斯混合空氣ト平衡ヲ維持セル檢水ヲ充分ナル注意ノ下ニ可及炭酸ノ逸出ヲ避ケ極メテ迅速ニ操作シ Cole¹⁹⁾ 氏ノ方法ニヨル Indikatorenmethode ヲ應用シ檢査セリ。

第 2 節 實驗成績

前記ノ方法ニ從ヒ實驗セル成績ノ詳細ハ一括シテ第15表ヲ以テ之ヲ示サン。即チ次ノ如シ。

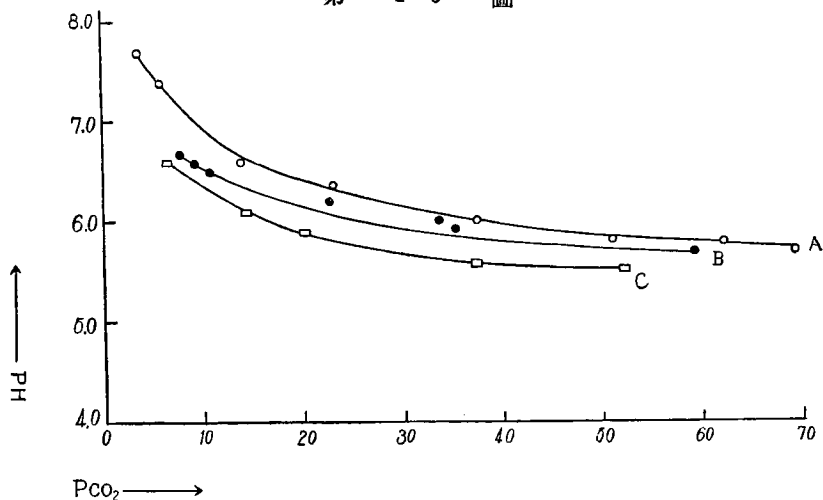
第 1 5 表

水 道 水			海 水			重 曹 附 加 水 道 水		
Pco ₂	Vco ₂	PH	Pco ₂	Vco ₂	PH	Pco ₂	Vco ₂	PH
6.53	2.62	6.6	7.77	4.77	6.7	3.92	5.00	7.7
14.20	3.11	6.1	9.37	4.80	6.6	5.45	5.58	7.4
20.13	3.82	5.9	10.85	5.26	6.5	13.84	7.12	6.6
37.14	5.48	5.6	22.76	7.16	6.2	23.36	8.40	6.4
51.58	7.22	5.5	33.61	8.39	6.0	37.06	10.18	6.0
			35.32	8.08	5.9	50.89	11.85	5.8
			59.10	11.28	5.7	62.19	13.07	5.8
						69.28	13.92	5.7
水槽ノ溫度：12°C			12°C—12.5°C			11°C—11.5°C		

(註) Pco₂ ハ炭酸ノ張力 mm Hg, Vco₂ ハ炭酸ノ Vol% ナリ。

今更ニ P_{CO_2} ト P_H トノ 關係ヲ 圖示スレバ次ノ 如シ。

第 10 圖



(註) A ハ重曹附加水道水 B ハ海水 C ハ水道水

前圖ニ於テ明カナルガ如ク水中重曹ノ量ノ異ナルニ從ヒ同一ノ炭酸張力ヲ有スルニモ拘ラズ其ノ水素「イオン」濃度即チ P_H ヲ異ニス。此點ニ關シテハ下文第8章ニ於テ再ビ詳述セントス。

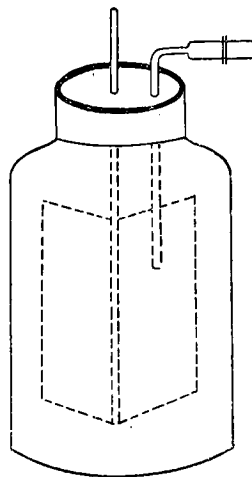
第 6 章 哺乳動物殊ニ二十日鼠ノ呼吸ニ及ボス炭酸ノ影響

鯉ニアリテハ上文記載ノ如ク水道水ノ CO_2 含量 4.48% 從テ之ニ相當スル CO_2 ノ張力略ボ 26 mm Hg 位ニ至レバ呼吸中樞ハ刺戟セラレテ呼吸數ヲ増加スル事ヲ知りタルヲ以テ之ヲ哺乳動物殊ニ二十日鼠²⁰⁾ト比較シ何レガ CO_2 ニ對シ鋭敏ナリヤヲ比較檢索センガ爲メ本實驗ヲ施行セリ。

第 1 節 實驗方法

實驗裝置ハ右圖ニ示スガ如キ内容約 1062 cc ノ廣口瓶ヲ用キ必要ニ應ジ瓶口ヲ「キルク」栓ニテ密閉シ黃蠟「ワセリン」ヲ塗布シ氣密トナシ内容攪拌用硝子棒ニ紙片ヲ貼りツケ「キルク」栓ヲ通ジテ瓶中ニ入ル。又瓶ハ空氣分析用硝子管ヲ通ジ外氣ト通ズ。外氣ト通ズル部ニ厚肉「ゴム」管ヲツケ「クレンメ」ニテ閉ヂ必要ニ際シ開クコトヲ得ル様ナス。斯カル裝置ヲ使用シ其ノ中ニ動物ヲ入レ密閉前ノ呼吸數ヲ測リ次デ密閉シ時々内容ヲ攪拌シツツ呼吸ノ行動ヲ觀察シ其ノ内容ヲ Haldane 氏瓦斯分析器ニ導キ CO_2 ノ量ヲ計算セリ。

第 11 圖



第 2 節 實 驗 成 績

二十日鼠ニ就テ行ヒタル實驗成績ノ中 3 例ヲ舉ゲレバ次ノ如シ。即チ第 16 表乃至第 18 表ハ之ヲ示ス。

第 16 表 16/IV 1929. Maus. Gewicht: 14 g

時 間	室 温 °C	呼 吸 數 (5 秒間)	備 考
11° 23' A. M.	14	18	密閉前
25'		19	
27'		19	
29'		18	
11° 30' A. M.	14	18	密閉
32'		18	
33'		19	
34'		19	
35'		20 → CO ₂ 1.4% (CO ₂ 張力 10.43 mm Hg)	
38'	14	25 → CO ₂ 2.6% (CO ₂ 張力 19.37 mm Hg)	

第 17 表 6/V 1929. Maus. Gewicht: 15 g

時 間	室 温 °C	呼 吸 數 (5 秒間)	備 考
8° 10' A. M.	12	18	密閉前
12'		19	
14'		18	
15'		18	
8° 46' A. M.	12	—	密閉
47'		18	
48'		18	
50'		19	
52'		19 → CO ₂ 1.5% (CO ₂ 張力 11.30 mm Hg)	
55'		22	
9° 0'	12	25 → CO ₂ 2.8% (CO ₂ 張力 21.08 mm Hg)	

第 18 表 6/V 1929. Maus. Gewicht: 20 g

時 間	室 温 °C	呼 吸 數 (5 秒間)	備 考
2° 40' P. M.	17	18	密閉前
42'		19	
45'		19	
2° 55' P. M.	17	—	密閉
56'		18	
3° 0'	17	19	→ CO ₂ 1.3% (CO ₂ 張力 9.72 mm Hg)
5'		24	
7'		25 → CO ₂ 3.0% (CO ₂ 張力 22.44 mm Hg)	

以上ノ實驗ハ單ニ大氣ヲ實驗裝置内ニ密閉シテ行ヒタルモノニシテ此場合ハ空氣中ノ CO_2 ノ張力ガ 11.30 mm Hg 迄ハ呼吸數ニ殆ド變化ナク其ノ張力ガ漸次増加シテ 19.37 mm Hg ニ至レバ呼吸數ノ増加ヲ見ル。即チ二十日鼠ニ於テハ「メヂウム」ノ炭酸分壓 19.37 mm Hg ニテ呼吸數ヲ増加シ鯉ニテハ 26 mm Hg ニテ始メテ呼吸數ヲ増加ス。此相違ハ肺呼吸ト總呼吸トノ相違ヲ考慮スル時ハ當然ノコトニシテ肺呼吸ニ於テハ每呼吸ニ肺臟内全空氣ノ換氣ヲナシ能ハザル爲メ肺胞氣中ノ CO_2 含量ハ呼吸氣ヨリモ多ク從テ其ノ分壓モ大ナレ共總呼吸ニ於テハ每呼吸ニ於テ靜脈血ハ薄キ膜ヲ隔ツルノミニテ直チニ「メヂウム」ト瓦斯交換ヲ行ヒ得ルナリ。サレバ二十日鼠ノ吸氣内ノ炭酸分壓 19 mm Hg ヲ越ユル時ニハ其ノ肺胞氣内 CO_2 ノ分壓ハ恐ラク 26 mm Hg ニ近キモノト考フルヲ得ベシ。

第 7 章 鯉及ビ山羊ノ血液内炭酸含有量ト炭酸張力トノ關係

鯉、二十日鼠ニ對シテ其ノ「メヂウム」タル水及ビ空氣ノ間ニ上述ノ如キ相違ヲ來スト同様ニ呼吸中樞ノ「メヂウム」タル血液（詳言スレバ組織液）中ノ緩衝鹽（Puffersalz）ノ多少ニヨリ同様ナル影響ヲ呼吸中樞ニ及ボスベキコト當然ナリ。此處ニ於テ魚類血液ト哺乳獸血液トノ間ニ炭酸包含量（張力ヲ變化スルコトナキ範圍ニ於ケル）ニ相違ナキヤ否ヤヲ知ラント欲シ次ノ實驗ヲ行ヘリ。

第 1 節 實驗方法

第 3 章記載ノ實驗方法ニ從ヒ尿酸曹達ニテ凝固ヲ制止シタル鯉又ハ山羊ノ血液（鯉ノ血液ハ心臟ヨリ山羊ノ血液ハ頸靜脈ヨリ採取）約 2cc ヲ豫メ真空トナシ置キタル Tonometer 中ニ入レ次ヲ適宜ノ CO_2 ヲ含有スル空氣ヲ更ニ Tonometer 内ニ吸引シ外氣ノ壓力ト平均セシメ水槽内ニ約 1 時間置キ時々廻轉シツツ血液ト CO_2 含有空氣ト瓦斯ノ平衡ヲトラシメ最後ニ Tonometer 内ノ壓力ヲ測ル。其ノ他ノ操作ハ第 3 章ニ述ベタル所ト同様ナリ。唯血液ハ Barcroft 氏血液瓦斯分析器ニヨリ其ノ内ニ含有セラルル CO_2 ノ Vol % ヲ檢測セリ。

第 2 節 實驗成績

前述ノ實驗方法ニ從ヒ鯉及ビ哺乳動物殊ニ山羊ノ血液内ニ於ケル CO_2 含有量ト其ノ張力トノ關係成績ハ次表ノ如シ。

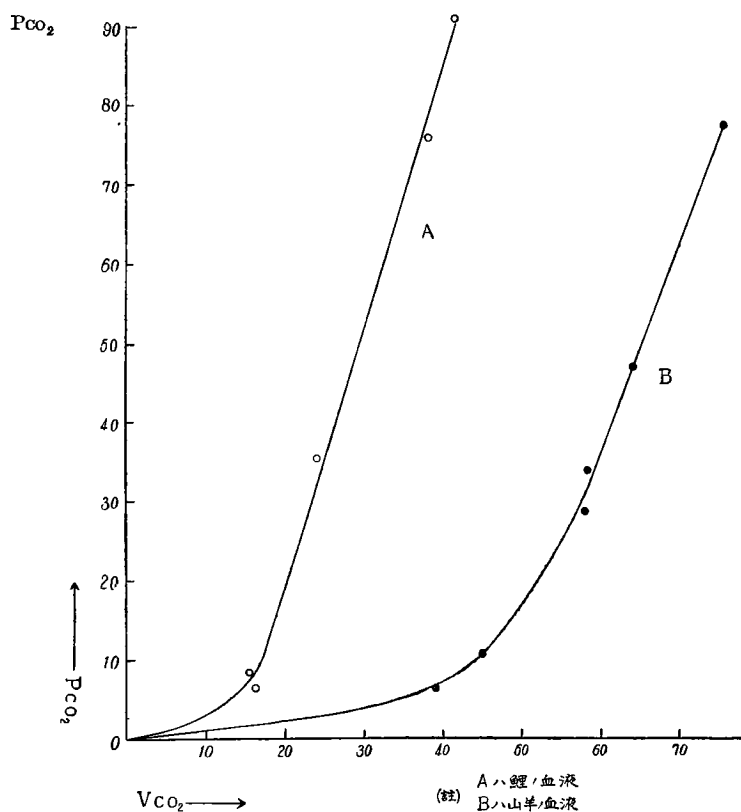
第 1 9 表

血液ノ種類	血液内 CO_2 Vol %	CO_2 -Spinning	水槽ノ溫度
鯉	15.6	8.4	22°C—22.5°C
	16.3	6.2	
	20.5	31.6	
	24.3	35.5	
	39.5	75.6	
	43.3	90.6	

血液ノ種類	血液内 CO ₂ Vol %	CO ₂ -Spannung	水槽ノ温度
山 羊	39.3	6.4	37.0°C
	45.0	10.6	
	58.5	28.2	
	59.0	33.8	
	65.4	46.4	
	77.5	76.8	

更ニ之ヲ曲線ニテ圖示セバ次ノ如シ。

第 1 2 圖



上記ノ成績ヲ見ルニ鯉ノ血液ハ哺乳動物殊ニ山羊ノ夫レニ比シ同量ノ CO₂ ニヨリテ遙ニ高キ張力ヲ呈スルヲ觀ル。即チ鯉ノ血液ハ山羊ノ血液ヨリモ緩衝物質 (Puffer) ヲ含ムコト遙ニ少キヲ知レリ。

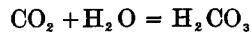
第 8 章 總 括 竝 考 案

以上各章ニ互リ論述セル成績ヲ總括シツツ考案ニ入ラントス。

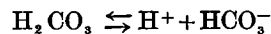
鯉ニ於テハ水道水中ニ於ケル CO_2 ノ含量 4.17% 從テ之ト平衡ヲ維持セル瓦斯混合空氣中ノ CO_2 ノ張力 23 mm Hg ニ至ル迄ハ呼吸行動ニ變化ナク血液内 CO_2 含量モ亦正常ノモノト大差ナシ。水中ノ CO_2 ノ含量 4.48% 以上從テ夫レニ相當スル CO_2 ノ張力 26 mm Hg 以上ニ至レバ呼吸數ノ増加ヲ來シ、口裂ノ開口顯著トナリ、鰓蓋ノ閉鎖運動モ亦增強ス。此際ニ於ケル血液内 CO_2 ノ含量モ亦從テ正常ノモノニ比シ増加セリ。

如斯鯉ノ呼吸中樞ハ血液内 CO_2 ノ張力増加ニヨリ刺戟セラレ呼吸數ノ増加ヲ來スモノナリ。第 3 章ニ述ベタルガ如ク、水道水ニ於ケル CO_2 ノ張力ハ水中ノ炭酸含量大約 8.0% 以下ニ於テハ之ト平衡ヲ維持スル空氣中ノ炭酸含量ヨリモ高く而モ炭酸含量少キ程其ノ差著シ。更ニ水道水ニ 0.1—0.3% ノ割合ニ重曹ヲ附加スル時ハ其ノ量ニ應ジテ水中ノ CO_2 ノ張力ハ一定範圍ノ炭酸含量迄ハ増加セズ。其ノ點以上ニ於テハ CO_2 ノ張力ハ炭酸含量ニ正比ス。即チ水道水ニ於テハ CO_2 ニ對スル緩衝作用 (Pufferwirkung) ハ比較的輕微ナレ共之ニ重曹ヲ附加スルコトニヨリ可ナリ顯著ナル緩衝作用ヲ認ムルニ至ル。茲ニ蛇足ヲ加フルノ非ヲ免レザランモ少シク重曹ニヨル緩衝作用²¹⁾ニ就テ述ベントス。

CO_2 ガ水中ニ溶解スル時ハ其ノ幾分ハ水ト抱合シテ次ノ式ノ示スガ如キ状態ニテ存在ス。即チ



唯此反應ニ關與スル CO_2 ノ部分ガ幾何ナルヤハ之ヲ知ルコト難シト雖モ斯カル状態トナレルモノハ更ニ次ノ如ク解離スルモノナリ。



今活動量ノ法則ニ從ヘバ

$$k = \frac{(\text{H}^+) \cdot (\text{HCO}_3^-)}{\text{H}_2\text{CO}_3} \dots\dots\dots(1)$$

トナリ更ニ Henry ノ法則ニ從ヒテ

$$(\text{H}_2\text{CO}_3) = K (\text{P}_{\text{CO}_2}) \dots\dots\dots(2)$$

ト置クコトヲ得式中 P_{CO_2} ハ溶液中ノ CO_2 張力ト平衡ヲ保ツ CO_2 ノ分壓ヲ mm ニテ計レル水銀柱ノ高サニテ表ハシタルモノ K ハ炭酸ノ水中ニ於ケル濃度竝ニ解離度ニ關スル定數ナリトス。

又重炭酸曹達ガ溶液トナレル時ノ重炭酸「イオン」ハ次ノ式ノ示スガ如シ。

$$(\text{HCO}_3^-) = \gamma [\text{NaHCO}_3] \dots\dots\dots(3)$$

式中 NaHCO_3 ハ Mol ノ濃度ヲ意味シ γ ハ其ノ解離係數ナリ。

以上 (1), (2) 及ビ (3) 式ヲ夫々代入シテ次式ヲ得。

$$[H^+] = C. \frac{P_{CO_2}}{N_{HCO_3}}$$

C. ハ上記諸定數ノ組合セヨリナルモノナリ。

今水道水、海水、重曹附加水道水ニ就キ之ト平衡ヲ維持スル CO_2 ノ分壓、 CO_2 含有量及ビ P_H ノ關係ヲ調査センニ第5章記載ノ如シ。即チ第10圖ニ明カナルガ如ク液中重曹ノ量ヲ異ニスルニ從ヒ同一ノ炭酸張力ヲ有スルニモ不拘其ノ水素「イオン」濃度即チ P_H ヲ異ニス。例之鯉ノ呼吸數ヲ増加セシムルニ足ル炭酸張力 26 mm Hg ヲ有スル水道水ノ P_H ハ略ボ 5.7 ニシテ其ノ水素「イオン」ノ濃度ハ 0.2×10^{-5} ニシテ 0.2% 重曹水ニアリテハ同一ノ炭酸張力ヲ有スル時ノ P_H ハ略ボ 6.2 (H^+ ノ濃度 0.6×10^{-6}) ニシテ約3倍強ノ差アルガ如シ。

若シ呼吸中樞ヲ刺激スル因子ガ水素「イオン」ノ濃度ニヨルモノナリトセバ血液乃至組織液ガ重曹ヲ含ムコト多キ程同一炭酸張力ヲ有シナガラ小ナル水素「イオン」濃度ヲ有スルコトトナルハ注意スベキコトニ屬ス。

次ニ第4章ニ述ベタル實驗成績ヲ見ルニ普通ノ水道水ニ於テ既ニ呼吸數ヲ増加セシムル程度以上ノ炭酸含量ニ至ルモ重曹水ニ於テハ尙ホ呼吸數ノ増加ヲ來サズ。而モ或ル範圍ヲ越ユル時ハヤハリ呼吸數ノ増加ヲ認メタリ。

即チ上述ノ理由ニヨリ重曹水ニ於テハ普通水道水ニ於ケルヨリモ一定範圍迄ハ炭酸ノ張力高マラズ尙ホ水素「イオン」濃度低キガ故ニ呼吸中樞ヲ興奮セシムルニ至ラズ、或ル範圍ヲ越ユル時ハ此等因子ノ上昇ニヨリ呼吸中樞ヲ興奮セシムルニ由ルナラン。

次ニ二十日鼠ニ於ケル實驗成績ヲ見ルニ、空氣中ノ CO_2 ノ含有量 2.6% 從テ其ノ張力 19 mm Hg ニシテ呼吸數ヲ増加シ鯉ニ在リテハ水中ニ於ケル CO_2 ノ含有量 4.48% 從テ之ニ相當スル CO_2 ノ張力 26 mm Hg ニシテ呼吸中樞ノ興奮トナリ呼吸數ノ増加ヲ來セルヲ以テ鯉ノ呼吸中樞ハ哺乳動物殊ニ二十日鼠ノ夫レニ比シ不銳敏ナルガ如ク見ユレ共彼ト是レトハ鯉呼吸ト肺呼吸トノ相違アリ。從テ鯉ニ於テハ其ノ靜脈血ハ直チニ其ノ周圍ニ存スル水ト瓦斯交換ヲ行フベキモノニシテ其ノ肺胞氣ノ CO_2 分壓ハ更ニ高キモノナルコトヲ想像シ得ベシ。

第5圖ニ示スガ如ク 19 mm Hg ノ炭酸張力ヲ有スル水道水ハ 3.7% ノ CO_2 ヲ含有シ 0.1% ノ重曹水ハ 5.0% ノ CO_2 、0.2% ノ重曹水ハ 8.0% ノ CO_2 、0.3% ノ重曹水ハ 9.6% ノ CO_2 ヲ含有ス。而シテ多クノ淡水魚類ハ 4.0% 内外ノ CO_2 含有量ニヨリ呼吸數ノ増加若シクハ Agonie ニ陥ルモノナリ。サレバ魚類ガ炭酸ニ對シ一層ニ不銳敏ナルガ如ク見ユルハ之ヲ呼吸中樞ノ特性ニ求ムルヨリハ寧ろ外圍ノ水ガ一定ノ炭酸張力ニ達スル迄ニ多量ノ CO_2 ヲ含有シ得ルニ歸スルヲ妥當トス。

第9章 結 論

以上見來レル所ニ依リ次ノ如キ結論ニ到達セリ。

1) 鯉ノ呼吸中樞ハ CO_2 ニヨリ興奮セラレ呼吸數ノ増加ヲ來ス。

2) 鯉ノ呼吸中樞ヲ興奮セシムルニ至ル水中 CO_2 ノ含量ハ 4.48% 以上ニシテ之ト平衡ヲ維持スル空氣中ノ CO_2 ノ張力ハ 26 mm Hg 以上ナリ。

3) 鯉ノ呼吸數ガ水中ニ於ケル CO_2 ノ増加ニヨリ増加セル際ハ血液内 CO_2 ノ含有量モ亦從テ増加セリ。故ニ呼吸中樞ハ血液内 CO_2 ノ張力増加ニヨリ興奮セラルルモノナリ。

4) 魚類ガ CO_2 ニ對シ一層ニ不銳敏ナルガ如ク見ユルハ之ヲ呼吸中樞ノ特性ニ求ムルヨリハ寧ロ外圍ノ水ガ一定ノ CO_2 張力ニ達スル迄ニ多量ノ CO_2 ヲ含有シ得ルニ歸スルヲ妥當トス。

稿ヲ終ルニ臨ミ始終御懇篤ナル御指導ヲ賜ハリ御校閲ノ勞ヲ辱ウシタル恩師生沼教授ニ對シ深甚ナル感謝ヲ捧グルモノナリ。(4. 11. 22. 受稿)

主 要 文 獻

- 1) Nicht direkt von Original, Sondern im Haus Wintersteinsche Handbuch d. vergl. Physiologie, Bd. 1, Hälft. 2, (1921), S. 604, Gelesen. 2) Gréhaunt et Fieard, Compt. rend. Acad. Sc. T. 76, (1873), p. 646. 3) Schönlein u. Willem, Zeitschr. f. Biol. Bd. 32, (1895), S. 511. 4) Nicht direkt von Original, Sondern im Arch. f. d. Ges. Physiol. Bd. 125, (1908), S. 164, Gelesen. 5) Nicht direkt von Original, Sondern im Erg. d. Physiol. Jahr. 9, (1910), S. 93, Gelesen. 6) Westerlund, Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 18, (1906), S. 263. 7) Ishihara, Zentrabl. f. Physiol. Bd. 20, (1906), S. 157. 8) Nicht direkt von Original, Sondern im Erg. d. Physiol. Jahr. 9, (1910), S. 132, Gelesen. 9) Kuiper, Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 117, (1907), S. 1. 10) Bubák u. Dedek, Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 119, (1907), S. 483. 11) Reuss, Zeitschr. f. Biol. Bd. 53, (1910), S. 555. 12) Rouf, Jour. of Physiol. Vol. 43, (1912), p. 449. 13) 吉田, 京都醫學雜誌, 第 17 卷, 第 11 號, 1327 頁. 14) Okuyama, Okayama-Igakkai-Zasshi, Nr. 405, (1923), S. 1. 15) 吉田, 京都醫學雜誌, 第 20 卷, 第 10 號, 1183 頁. 16) van Slyke, Amer. Jour. of Biol. Chemist. Vol. 30, (1917), P. 347. 17) Mc Clendon, Ibid. p. 259. 18) Landolt u. Börnstein, Physik. chemisch. Tabellen, 1894, S. 53. 19) S. W. Cole, Pract. Physiol. Chemistry, 1928, p. 25. 20) 津金, 成醫會雜誌, 第 466 號, 485 頁. 21) Höber, Physik. Chemie d. Zelle u. d. Gewebe. Bd. 1, (1922), S. 73 u. S. 131.

Kurze Inhaltsangabe.

Über die Empfindlichkeit des Atmungszentrums bei Fischen für Kohlensäure.

Von

Dr. Seiiti Yosizumi.

Aus dem physiologischen Institut der med. Universität zu Okayama.

(Vorstand : Prof. Dr. S. Oinuma.)

Eingegangen am 22. November 1929.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die Atembewegung der Fische durch den Kohlensäuregehalt im weiten Bereich unbeeinflussbar ist. Dieser Versuch wurde unternommen um zu entscheiden, ob diese Tatsache auf der Unempfindlichkeit des Atemzentrums für Kohlensäure oder auf irgendeiner anderen Ursache beruht. Man kam zu folgenden Resultaten :

1) Beim Karpfen zeigt die Atemfrequenz keine Veränderung, solange die Kohlensäuretension des Mediums (Wasser) 23 mm Hg. nicht übersteigt. Der Kohlensäuregehalt des Blutes bleibt auch normal, so weit die Kohlensäuretension des Mediums unterhalb dieses Wertes liegt.

2) Die Kohlensäuretension des Leitungswassers ist dem Kohlensäuregehalt des Wassers proportional. Wenn man dieses Verhältnis auf das senkrechte Coordinatensystem überträgt, indem man die Tension in der Ordinate und den Kohlensäuregehalt in der Abszisse einzeichnet, so steigt die Tension geradlinig mit dem Kohlensäuregehalt. Wenn man dem Wasser etwas Natrium bikarbonat zusetzt, so wirkt das Salz als Puffer d. h. eine gewisse Menge der Kohlensäure wird vom Bikarbonat verschluckt, ohne dass die Kohlensäuretension sich steigert. Zum Beispiel verschluckt eine 0.2% ige Bikarbonatlösung bis 6 % CO₂, eine 0.3% ige Lösung bis 7.5 % CO₂. Über diese Menge hinaus steigt die Tension proportional mit dem Kohlensäuregehalt.

3) Bei der Maus bleibt die Atemfrequenz in einem Versuch bis 11 mm Hg. vom partiellen Druck der Kohlensäure in der Luft unbeeinflusst. In einem anderen Versuch zeigt sich durch CO₂-Druck eine Vermehrung der Frequenz der Atmung bei 19 mm Hg.

Manche Fische, welche im Süßwasser leben, zeigen im Wasser mit 4 % CO₂-Gehalt eine Zunahme der Atemfrequenz oder Agonie.

Das Leitungswasser mit 3.7 % CO₂ hat eine Kohlensäuretension von 19 mm Hg. Es ist also kein Unterschied zwischen Maus und Fisch bemerkbar. Da 0.1% ige Bikarbonatlösung erst mit 5 % CO₂-Gehalt, 0.3% ige Lösung erst mit 9.6 % CO₂ dieselbe CO₂-

Spannung ergibt, so kann man wohl vermuten, dass die Fische im Meereswasser einen noch höheren Kohlensäuregehalt als Süßwasserfische ertragen können.

Aus diesem Versuch kann man schliessen, dass die scheinbare Unempfindlichkeit des Atemzentrums gegen Kohlensäure hauptsächlich auf der Pufferwirkung des Mediums beruht.

(Sowohl die theoretische Überlegung auch die experimentelle Untersuchung zeigte, dass das Leitungswasser mit verschiedenem Bikarbonatgehalt eine verschiedene Wasserstoffion-Konzentration für dieselbe Kohlensäuretension hat. Also, ob das Respirationszentrum gegen die bestimmte Kohlensäuretension oder die Wasserstoffion-Konzentration empfindlich ist, wird die nachträgliche Untersuchung darüber wohl entscheiden.)

