HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漁具の空間形状と魚の行動の研究
Author(s)	三浦, 汀介; MIURA, Teisuke
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 44(4), 179-186
Issue Date	1993-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24123
Type	departmental bulletin paper
File Information	44(4)_P179-186.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北 大 水 産 彙 報
44(4), 179-186. 1993.

漁具の空間形状と魚の行動の研究

三 浦 汀 介*

Studies on the Relation between Fish Behaviour and Gear Space

Teisuke MIURA*

Abstract

In order to clarify the change in fish behaviour when gear-space is made more complicated, experiments were carried out to estimate the probable swimming paths in 4 traps of different makes in a water tank.

The probable swimming paths were derived from the joint probability of 3 sequential zones (mesh zones) in this study and those were evaluated by using the entropy as defined by the author.

In conclusion, it appears that fish behaviour and probable swimming paths were very irregular and entropy values of these mesh zones increased in accordance with the gear-space being made more complicated.

緒　　言

一般に，漁具模型に対する魚の行動研究には，2つのアプローチが考えられる。1つは決定論的考え方で物理モデルによるモデリングであり，今1つは確率論的な考え方で確率モデルによるものである[1)]。

前報[2)]では魚の行動と漁具空間のかかわり合いを調べるための基礎的研究として，魚の行動の確率論的アプローチの例を報告した。1つは遊泳経路ならびにその抽出法を示し，今1つはその経路を構成するゾーンの空間的特性を分析し評価する手段としてエントロピー値を使う方法を示した。本報告では，基礎的に上述の方法を用い，漁具空間の形状が複雑になっていく過程で供試魚の行動がどのように変化していくのかについて考察を行った。具体的には，単純な正方形の閉鎖的な空間に供試魚が自由遊泳している場合と長方形の中央仕切り板の一部にゲートがあり，それがトンネル状に隣のサブ空間につながる場合，さらに仕切り板の部分にカエシが付いた場合のそれぞれについて供試魚の行動がどのように複雑なものに変化していくかに着目した。

実験装置と方法

実験装置の概要は図1に示す。実験時の環境条件としては水温を13°Cとし，装置のおかれた位置での照度を500 lx，水深を8 cmと決めた。供試用トラップは図2に示すような4つの型を設定

* 北海道大学水産学部漁具漁法学講座
(*Laboratory of Operation Technology of Fishing, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

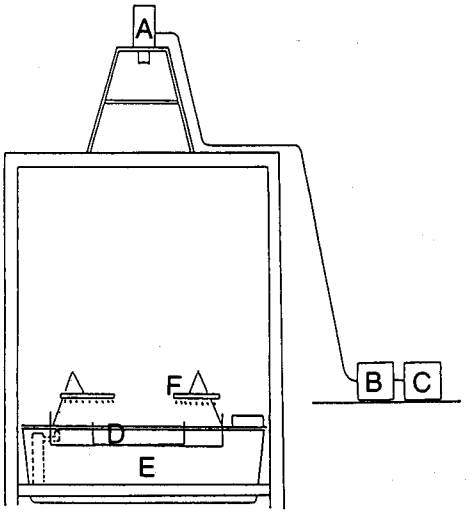

Fig. 1. Water tank and measurement device used in the experiment.
A : Camera B : VTR C : TV D : Trap E : Feeding tank F : Lamp

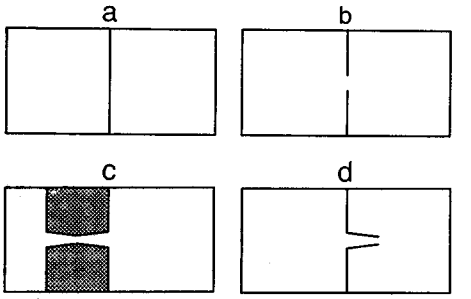

Fig. 2. 4 types (a, b, c, d) of experimental traps.

した。a 型は最も単純な構造で正方形の空間を供試魚がどのように遊泳するのかといった基本経路を調べる目的のトラップである。b 型は中央の仕切り板にゲートを開け，自由に 2 つのサブ空間（左半面を外，右半面を内と決める）を行き来できるようにした。c 型では内昇りをモデル化したものをゲートの外側につけ，さらに，供試魚を素早く右半面の空間に戻すために同型のカエシをその左に設置した。d 型は昇りの空間的特性や箱網のそれを調べる目的から，昇り網をモデル化したカエシをゲートの内側につけた。供試用トラップの構造や寸法を図 3 に示す。供試魚は半年ほど前から飼育水槽で飼育していた体長 10 cm のヤマメ *Onchorhvnchus masou* を用いた。実験は毎日午後 1 時から 4 時の間に行い，供試魚をトラップの中に 1 尾放し，しばらくして供試魚が

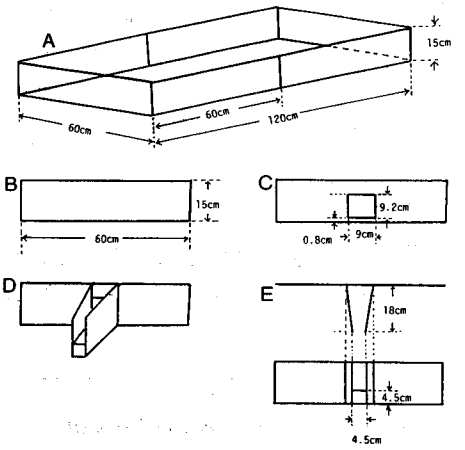

Fig. 3. Experimental trap.
A : Hence B : Partition plate C : Gate D : Funnel E : Funnel dimension

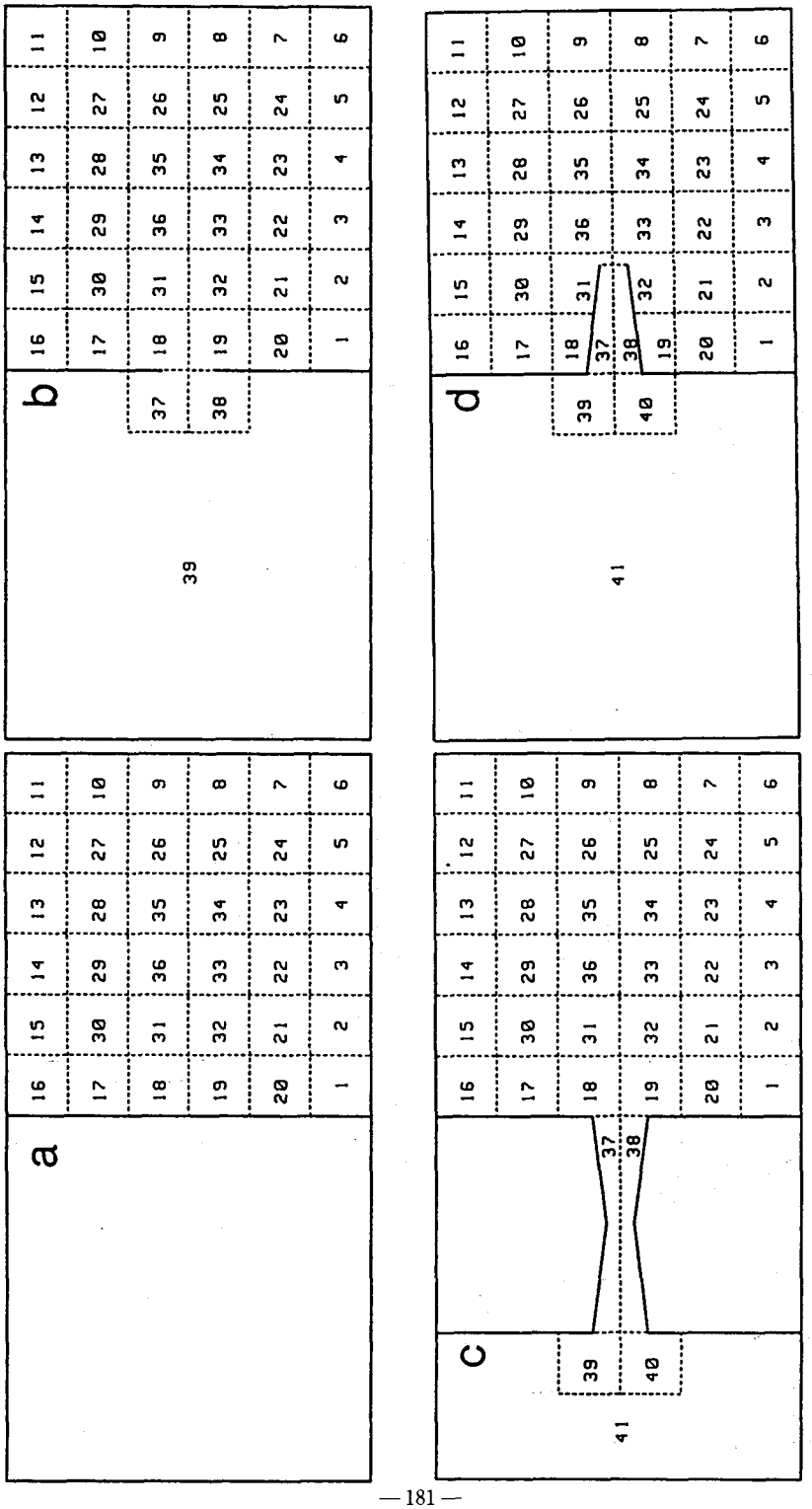

Fig. 4. Four mesh models of different types (a, b, c, d).

装置になれ落ち着くのを待って開始し，そのときの行動を VTR に録画した。

遊泳経路の求め方

遊泳経路は前回と同様に図 4 のように対象とする空間をメッシュに区切って調べた。供試魚が各ゾーンを通過していくことによって，その空間が供試魚の行動によって 1 次元のデータ列に変換されて行く。こうして得られたデータから連続する 3 つのゾーンの生起する確率を調べ，この同時生起確率の大きな値をつなげて行くことで供試魚の遊泳行動の特徴を表す遊泳経路を求めた。そして，その確率の大小で主経路と従経路を表した。

空間特性と評価法

同時生起確率から求めた遊泳経路は供試魚の遊泳行動の特徴（あるゾーンの魚群流量のようなもの）を示していることは確かである。しかし，ゾーンの特性を完全に表するものにはならない。供試魚の行動を制御するゾーンの特性というものは，そこを通過する供試魚の通過回数だけでは表現できない。例え通過尾数が少なくても，確実にある方向に誘導することができるなら，この空間は供試魚の行動を強く制御する空間と言える。例えば，陸上交通における道路標識のある空間を考えて見れば分かりやすい。一方通行や右折禁止のような交通制御に似た意味が漁具空間にも形成されている可能性がある。前回と同様に，そのゾーンの規則性は (1) 式によって評価する。

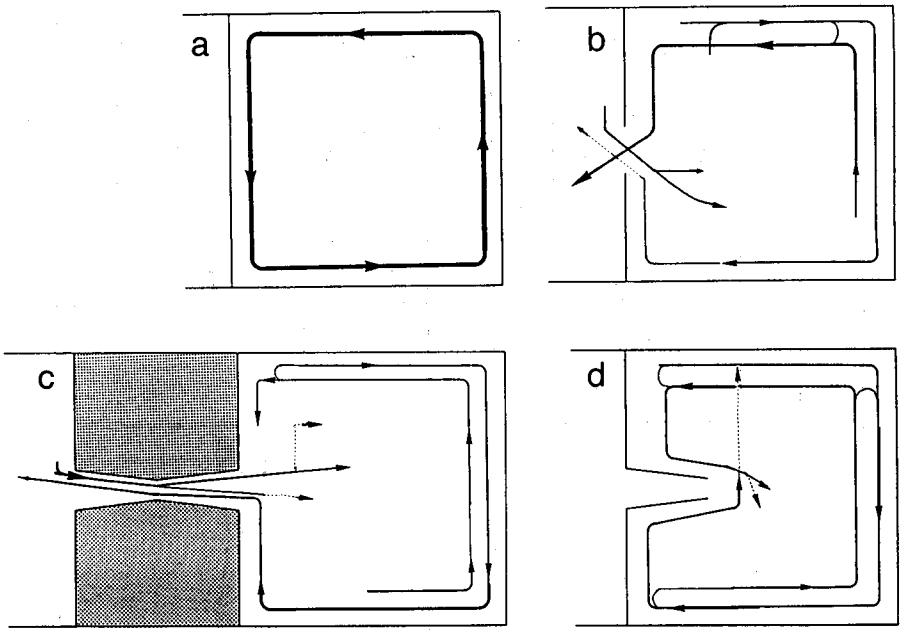

Fig. 5. The trajectory of a test fish in 4 types (a, b, c, d) of traps based on the joint probability.
$0.030 \leqq p(q_j, s_i)$
$0.020 \leqq p(q_j, s_i) < 0.030$
$0.010 \leqq p(q_j, s_i) < 0.020$
$0.005 \leqq p(q_j, s_i) < 0.010$

いわゆる，ゾーンのエントロピーと著者が定義したものである[2)]。

$$I(Sr)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}P(q_j, s_i)\log_2 P(q_j|s_i) \tag{1}$$

ここでは s_i は条件 q_j のもとで選ばれる各ゾーンを意味し，q_j は s_i が選ばれる以前の状態を表す。また，$P(q_j, s_i)$ は同時生起確率を表し，$P(q_j|s_i)$ は条件付き確率を表す。

結　　果

同時生起確率から求めた a, b, c, d のそれぞれの型に対する遊泳経路を図 5 に示す。遊泳経路を表す同時生起確率 $P(q_j, s_i)$ は

$0.030 \leqq P(q_j, s_i)$ ━━━━━
$0.020 \leqq P(q_j, s_i) < 0.030$ ━━━━━
$0.010 \leqq P(q_j, s_i) < 0.020$ ────
$0.005 \leqq P(q_j, s_i) < 0.010$ ┈┈┈┈

のように表した。同時生起確率の平均値は理論的には 0.002 となるので，上の値はそれより充分大きなものとなり遊泳経路としての意味は十分に高い。

a 型トラップ：この型の場合，確率の高いゾーンと低いゾーンに明確に分かれた。確率の高いゾーンを基に経路を導き図示すると図 5a のようになり，壁に沿う左回りの経路が卓越した。ゾーンのエントロピー値からは，4 角の 1, 6, 11, 16 のゾーンで特に小さい値を示した。角のゾーンと隣合うゾーンは 2 つしかないので角に来た供試魚は U ターンして後ろのゾーンに戻るか壁に沿って向きを変えて横のゾーンに進む 2 つのどちらかしかないが，a では横のゾーンに進んだものがほとんどで U ターンしたものは希であった。

b 型トラップ：図 5b に遊泳経路を示した。壁に沿う左回りの経路の下半分がほぼ消え，これに対して壁に沿う右回りの経路が出現した。仕切りの中央のゲートに注目すると壁に沿って 16 → 17 → 18 と進行したとき，37 へと左半面に行くのがほとんどであったが，このとき壁づたいに回り込んで 18 → 37 → 39 へとは行かず 18 → 37 → 38 へと進んだ。また，同様に壁づたいに 47 → 37 あるいは 39 → 38 と来たとき，口を通った後壁づたいに U ターンした回り込む行動は見られなかった。なおゾーン 37 およびゾーン 38 は 2 辺でゾーン 39 と接しているため，そこの経路の方向性はあいまいになるが，観察結果をもとにして，そこの経路を図示した。エントロピー値で見ると，18 (0.0362) と 19 (0.0388) で特に大きくなっており，ゲートの前で色々な動きがあったことが分かる (カッコ内の数値はエントロピー値 bit を示す)。

c 型トラップ：図 5c に遊泳経路を示す。壁に沿う経路は左回りより右回りのほうが卓越した。左半面からカエシに入り，右半面に出た時の行動は壁に沿って折れずにそのまま真っ直ぐに進んだ。なお，ゾーン 39 および 40 は b 型のゾーン 37 および 38 と同様に 2 辺でゾーン 41 と接しているため，そこの経路の方向性はあいまいになるが，観察結果をもとにして，そこの経路を図示した。エントロピー値についてみると 18 (0.0317) と 19 (0.0331) で大きくなっておりカエシの前でいろいろな動きがあったことが分かる。

d 型トラップ：図 5d に遊泳経路を示す。壁に沿っての経路は右回り，左回りともほぼ対称的に同程度見られた。カエシの口の所の動きに注目すると壁に沿って 19 → 32 → 33 → 36 と来た後 29 へと進んだのがほとんどで，31 へと進んだ場合はほんの僅かであった。また 19 → 32 → 31 と進んだ後 19 へと進んだ場合は一度もなかった。このようにカエシの口のところでも b 型の口のところの動きと同様に壁づたいに回りこむ動きはほとんどなかった。なお，カエシの口を通過して，左

半面に行った場合は一度もなかった。エントロピー値についてみると 18 (0.0123) と 19 (0.0117) で特に小さくなっており，これはこれらのゾーンで U ターンをした場合が少なくそれに比べて壁に沿って向きを変えて進んだ場合が多かったためである。また 36 (0.0383) ではエントロピー値が特に大きくなっており，そこでいろいろの動きがあったことが分かる。

考　　察

供試魚の遊泳経路は種々の要因によって決定されるが，本実験においては，実験条件を一定にしていることから，空間形状が供試魚の行動に強い影響を与えたものと考えられる。従って，供試魚の行動には，特に，視覚と側線感覚のそれぞれの感覚器官が特に重要であったものと思われる[3]。全体的に見て壁に沿う行動が多く見られ，これが各型とも基本的な経路になっている。壁に沿う経路の方向に関しての安定性を調べるために，各型の壁に接している 1 から 16 までのゾーンのエントロピー値とその合計を表 1 と図 6 に示す。エントロピー値が小さい程経路が安定していると言えるが図より a 型が最も安定した経路であり，続いて b, c, d の順で経路が不安定になっていることが分かる。つまり，空間形状が複雑になるにつれて，壁に沿う経路は不安定なものとなっているようである。空間形状は，ここでは仕切りの形だけが異なっているが，分析結果を見ると仕切りの形状が，その部分の行動のみに作用するのではなく，壁際の空間での行動にまで影響を及ぼしていることが分かる。

a 型では壁に沿う左回りの経路が右回りの経路よりも特に，顕著にみられた。この理由は 2 つ考えられる。1 つは一方向のみの回り方が卓越したこと今 1 つは回り方が左回りであったことであ

Table 1. The entropy (bit) of each zone (1～16) and the total entropy (1～16) of 4 types of traps

Zone	Type of a	Type of b	Type of c	Type of d
Zone 1	0.0000	0.0058	0.0128	0.0226
Zone 2	0.0075	0.0060	0.0166	0.0226
Zone 3	0.0217	0.0134	0.0190	0.0263
Zone 4	0.0228	0.0080	0.0100	0.0225
Zone 5	0.0304	0.0232	0.0217	0.0245
Zone 6	0.0024	0.0164	0.0256	0.0250
Zone 7	0.0091	0.0247	0.0250	0.0355
Zone 8	0.0104	0.0130	0.0256	0.0285
Zone 9	0.0177	0.0153	0.0254	0.0287
Zone 10	0.0261	0.0277	0.0427	0.0238
Zone 11	0.0051	0.0329	0.0293	0.0333
Zone 12	0.0073	0.0279	0.0332	0.0264
Zone 13	0.0096	0.0132	0.0103	0.0257
Zone 14	0.0091	0.0196	0.0023	0.0212
Zone 15	0.0075	0.0178	0.0089	0.0202
Zone 16	0.0037	0.0178	0.0112	0.0276
Total	0.1904	0.2827	0.3196	0.4144

* Unit of entropy : bit (binary digit).

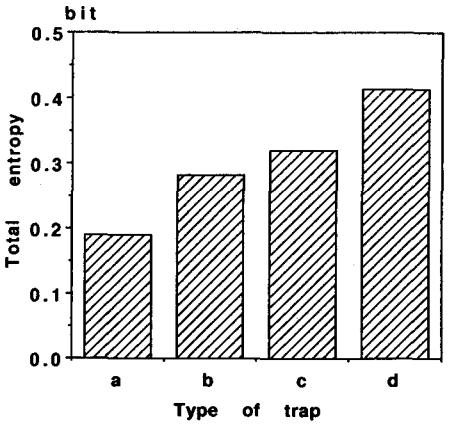

Fig. 6. Relation between total entropy (zone 1～zone 16) and 4 types (a, b, c, d) of traps.

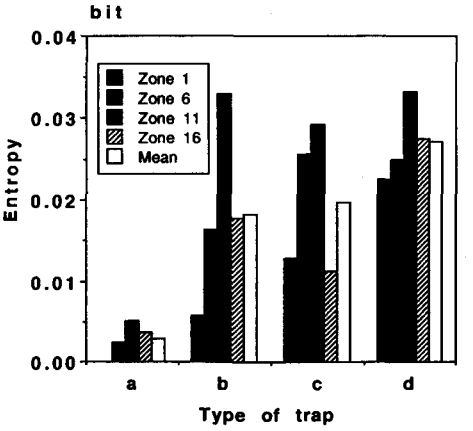

Fig. 7. Relation between entropy of each zone (1, 6, 11, 16) and 4 types (a, b, c, d) of traps.

る。最初の場合は，供試魚が壁に沿って行動し，その向きを変える空間的要因としては，角のゾーンでの 90° または U ターンによる方向転換があるが，a 型の場合では 90° の方向転換が卓越した結果と言える。図 7 に各型の 4 つの角のゾーン 1, 6, 11, 16 のエントロピー値とその平均値を示す。これを見ると明らかに a 型は他の型に比べエントロピー値が小さく各角のゾーンの間に差がないことが分かる。このことは角のゾーンで壁に沿って曲る行動が卓越し，U ターンしたのが少ないことを示している。各型の相違は空間構造の違いのみであるから，従って，これは a 型のような単純な空間構造の特徴を示していると言える。つまり，a 型のような正方形という単純な空間構造では供試魚に方向転換を起こすきっかけが 4 つの角のゾーンに存在するが，そこでは U ターンよりむしろ壁に沿って横に曲る誘導効果が卓越するものと考えられる。この理由は，他の型と違ってカエシやゲートと言った空間的に複雑にする要素によって供試魚の行動が影響を受けないことによるものと思われる。a 型以外では特に 11 のゾーンのエントロピー値を増加する方向に影響が現れた。

次に回り方が左回りであったことについて考えると，図 5 から b 型では左回りの方が多く，c 型ではやや右回りの方が多く，d 型では右回りの方が多くなっている。このことからヤマメという魚種に特に左回りの傾向が強いとは言えない。従って a 型で左回りが顕著であったことより，むしろ，回り方はどちらでも一方向のみの回り方が卓越したことに意味があるのではないかと考えられる。本実験では，そのきっかけは分からないが，たまたま左回りとなり，従って別の実験では右回りも起こり得ると考えた方が妥当である。

b 型では a 型と比べ壁に沿う左回りの経路の下半分がほぼ消え右回りの経路が出現している。そして経路がやや複雑化したが，これは仕切り板にゲートを開けたことによって左半面の空間から右半面の空間に来る動きが生じたため，これがゾーン 18 (0.0362), 19 (0.0389), 37 (0.0281), 38 (0.0185) の供試魚の行動に影響を与えたためであると思われる。

c 型のようにゲートのところにカエシを付けた場合 b 型のように何も付けない時と比べて供試魚が壁に沿ってカエシやゲートの前まで来た後，そこを通る割合に違いがあるかどうかを調べると，c 型において 1 → 20 → 19 と壁に沿って進んで来たとき，そのうちの 97% がカエシに入った。また，16 → 17 → 18 ときたときは 96% がゲートを通った。このように c, b いずれの型も同じ位の

割合になり両者の間に違いは見られなかったので，仕切り板のゲートのところにカエシが付くことによって供試魚がそこに入り易くなったり，入り難くなったりすることはないといえる。

d 型において，カエシを通って右半面の空間から左半面の空間に行った場合は実験中一度もなかった。これはカエシの出口が狭いこと，また水深が 8 cm であるのにカエシの出口がそこから 4 cm 上にあること，また，カエシの壁の形状が原因と考えられる。

b 型のゲートのところでの動きや d 型のカエシの出口のところでの動きには，いずれも実験結果で述べたように壁に沿って回り込む動き，つまり，U ターンはほとんどなかった。すなわち，供試魚がカエシやゲートのような突き出た壁に沿って泳いで来て，壁の先端まで来た後，それまで壁と面していた側と同じ側で壁と面するように壁づたいに回り込むような U ターンする動きはほとんどないということであり，これは突き出た壁に対する供試魚の行動習性であると思われる[4]。

c 型において左半面からカエシに入り右半面に出たときの行動は壁に沿って折れずにそのまま進んだが (右半面の空間から左半面の空間に行ったときにも同様に見られる)，これはカエシ内の狭い空間の作用であると考えられる。狭い空間はそこを通り抜けた後も供試魚の行動にそのままの方向性を付けるのではないかと考えられる。当然，エントロピー値でもカエシ内の 37 (0), 38 (0) は低い値を示すことになる。しかし，c 型のカエシの前の 18 (0.0317), 19 (0.0331) のように，37, 38 から通過することは規則的であっても，37, 38 に向かうときには，色々の方向から入ることになるため，このように空間構造が複雑になっているところではいずれもエントロピー値が大きくなっており，供試魚の行動にも色々な動きが出て来ることが分かる。

以上のように漁具空間が構造的に複雑になるに従って供試魚の行動も複雑になり遊泳経路 (魚群流のようなもの) を構成する確率の値が低下する。そして，供試魚の行動を制御するそれぞれの空間のエントロピー値も増大し，規則性を弱めてしまう。しかし，有効な漁具の設計を考えるならば，魚群を魚捕部に誘導する仕組みが，若干，複雑になっても，それを構成する空間のエントロピー値を上げない工夫が今後の課題となる。

謝　　辞

本研究を進めるにあたり，有益な助言を頂いた北海道大学水産学部の梨本勝昭教授に深く感謝の意を表します。また，データの収集ならびに処理において多くの協力をして頂いた本学部卒業生の吉田英実氏にこの場を借りて感謝します。

文　　献

1) 三浦汀介 (1989). 確率モデル，漁具に対する魚群行動の研究方法 (小池　篤編). 159 p. 恒星社厚生閣，東京.
2) 三浦汀介・清水　晋・西山作蔵・佐藤　修 (1986). トラップ内での魚の行動解析に関する一考察. 日水誌 **52**, 1107-1113.
3) 井上　実 (1978). 魚の行動と漁法. 211 p, 恒星社厚生閣，東京.
4) 井上　実 (1985). 漁具と魚の行動. 197 p, 恒星社厚生閣，東京.