総説

ハマチ養成網生簀における海水交流

井 上 裕 雄

(1971 年 11 月 5 日受理)

On Water Exchange in a Net Cage Stocked with the Fish, Hamachi

Hiroo INOUE*

1964~1966 年に水産庁指定調査事業として 西日本諸県の水産試験場が主になつて 魚類養殖環境要因調査を実施した。とくにハマチ養成に焦点をおき、多くの報告書が提出された。その調査においては数多くの養魚場ないしは施設の環境条件がさまざまな視角から調査されており、水質、底質と同時に海水交流についても多くの報告がある。しかしながら、これらの調査はそれぞれ条件を異にし、思い思いにまとめられているために、そのままでは十分活用しきれない恐れがあり、多くの解決されるべき問題を残している。

他方、ハマチ養成事業のうちでも網生簀は年を追つて盛んになり、0才ものばかりではなく、2~3才魚の養成へと進展している。網生簀はその規模、形状、構造が多様化し、また経営規模も2~3台の小経営体から数10台をかかえた大規模のものまでさまざまである。これらは主として内湾に設置されているため過度に集中すると水質、底質の悪化をもたらす恐れがあり、現実にそうした事例が生じている。養魚場の老化に対処するためには、内湾全体の地形、海水流動・交流の状況、水質、底質などを総合的に考慮して生簀の適正な配置、台数、1台当りの収容尾数などを決め、合目的な保全管理を実施しなければならない。こういった合理的計画の基礎となる理論の確立が急がれるのであるが、本文ではその一つとして網生簀における海水交流を取り上げ、各県水産試験場の魚類養殖環境要因調査報告書から本題に関係するものを選んで再整理し、またその他の研究も加えて総述した。網生簀養殖における諸問題解決の一助となれば幸いである。

なお、取まとめに際し大島泰雄博士から多くの助言を賜わり、また水産庁本間昭郎企画官、東京大学平野礼次郎助教授にお世話になつた。付記して謝意を表する。

§ 1. 網生簀における魚群活動と海水流動の状況

一般に網生簀周辺の海水流動は、それが置かれている水域の潮流に生簀内に収容された魚群の運動によつて生ずる流れが重畳し、複雑な様相を呈する。

久岡ら⁵⁾が広島県似島で8月10日に観察したところによれば(魚体重209g, 収容尾数1300, 網生簀 $5 \times 5 \times 4.5 \text{ m}^3$, 目合3cm), 魚群活動の最も活発なのは投餌時であり、夜明けの4時から8時までがこれにすぎ、かなり活発な巡回運動を行なつているといわれ、このとき網生簀内には1~3cm/secの巡回流を生ずる。生簀外の流れが4cm/sec以上のときには、生簀内の流向は生簀外の流向とほぼ一致するが、これ以下になると収容魚の群行動の影響を受けて生簀内外の流向はかなりくい違い複雑になる。動きの緩慢なのは22時すぎから4時ごろまでの夜間であつて、ゆるやかな巡回をしているが、静止の状態にはならない。

徳島水試¹⁸⁾が徳島県中野で8月26日に行なつた潜水観察を含めた調査では(魚体重440g, 収容尾数6000, 網生簀 $4.5 \times 4.5 \times 3 \text{ m}^3$), 昼間平時には魚は水深1m層付近で静かに巡回群泳し、海水は水面から1mく

* 香川大学農学部 (Fac. Agr., Kagawa Univ., Miki-cho, Kida-gun, Kagawa, Japan)

らしいの深さまでの間で外から浸入し、生簀の中央部から斜め下方に流出している。投餌中には生簀外で表面で 10 cm/sec, 1 m 層で 4 cm/sec の速さで流出する。このとき海水は底層部から吸い上げられ、上層 0~1 m から遠心的に生簀外周辺へ流れ出る。この状況は愛媛水試²⁾でも観察されている。投餌後暫くの間はやや弱くなるが、傾向としては投餌中と類似している。このような魚群の旋回運動の影響がかなり明確に認められるのは生簀設置水域の流速が 4~5 cm/sec 以下のときであるという。このことは久岡ら⁵⁾の調査と一致する。

岡山水試¹¹⁾は設置水域の潮流がかなり速い場合について調べている(魚体重 260 g, 収容尾数 12400, 網生簀 20×20×6 m³, 目合 5 cm)が、9~18 cm/sec 程度になると投餌中でも生簀外周辺の流動状況は魚の旋回群泳の影響をほとんど受けないという。

大分水試¹²⁾の報告によれば、7、8 月には早朝 5 時頃から水面下 1~2 m 層を円運動し、旋回流を伴う。投餌時にその旋回流は最も激しくなり、海水は表面から網外へかなりの速さで流出する。投餌中魚群による旋回流の中央水面下で着色水を詰めたゴム風船をわると円柱状に着色し、その後表面より周辺へ環状に拡散流出した。この実験は徳島水試¹³⁾が網なりの状況を潜水調査した前述の結論を明確に立証している。魚群は投餌後しばらくの間沈下し、水面も平静であるが、再び群をなして円運動を始め、日中は行動が活発である。夜間は多くは中層から下層で不規則に散泳しており動作は緩慢である。ただし夜間投光器で長時間照明すれば、動作は緩慢であるが、群の形成が強まる傾向がみられる。1 月に入ると投餌時のみ浮上するが、日中も深部にいる模様である。

§ 2. 網生簀による流速の減衰

ある水域に網生簀を設置した場合、網生簀内の流れはその水域の流れとは異なる。網糸の種類・撚り、網の目合、網生簀の形状・大きさ、付着物の種類・量、設置方向、網生簀相互の配置様式などによることはもちろんのこと、さらに収容尾数、魚の大きさ、魚の活動状況、水域の流れの状況によつて影響される。

茨城水試⁹⁾は 1 m³ のモデル網生簀の前面を流れに直角におき、上流 (U_u) と内部 (U_i) および下流 (U_d) の流速を測り、 U_i/U_u 、 U_d/U_i の値は網地総面積 (S_0) に対する空間総面積 (S) の比 S/S_0 にほぼ等しいことを示した。たとえば $S/S_0 = 0.65$ のとき $U_i/U_u = 0.65 \pm 0.04$, $U_d/U_i = 0.64 \pm 0.03$ (ただし $U_u = 9 \sim 36$ cm/sec の範囲)、また $S/S_0 = 0.86$ のとき $U_i/U_u = 0.91 \pm 0.03$, $U_d/U_i = 0.79 \pm 0.02$ (ただし $U_u = 22 \sim 38$ cm/sec の範囲) を得ている。したがって、このような近似の簡単な関係が成立すれば流れの方向に配置された一連の網生簀の第 n 番目網生簀内の流速は

$$U_{in} = U_{u1}(S/S_0)^{2n-1} \quad (1)$$

となる。 S/S_0 が知られていなくとも U_i/U_u で置き代えてよい。

愛媛水試²⁾が 3×3×3 m³ (クレモナ) の網生簀を使い、目合 0.9, 2.4 cm の 2 種類について、魚を収容せずに各 3 台を設置水域の流れの方向に 2 列に設置して流速の変化を測定しているが、その結果を (1) 式と比較したのが Fig. 1 である。(1) 式である程度推算が可能であることがわかる。

S/S_0 は網への付着物の多寡によつて変る。徳島水試¹³⁾が行なつた網の浸漬テストによれば 6、7 月に最も付着量が多く、次いで 10 月で、12 月には最も少ない。また付着量は表層が著しく多いという。

Fig. 2 は福田ら⁹⁾が香川県屋島湾にて化繊網 (ポリエチレン, 8 節, 白色) の付着物による目詰りの様相を調べた結果の要約である。新しい網の通水面積に対する一定期間海中浸漬後の通水面積の比が浸漬期間によつてどう変るかを示している。徳島水試の結果と同様に水面に近い網の部分に付着物が最も多く、20 日前後で通水面積が始めの 55% 程度まで減ずる。一般的には、(1) 設置後の 20 日間に多くの付着物があり著しい目詰りをおこすが、その後の 20 日間はあまり変化しない。しかしその後さらに 20 日の間に再び著しい付着物が認められること、(2) 水面近くで特に付着物による目詰りが顕著であるといえよう。このように網の汚れ、つまり目詰りは通水面積を著しく減じ、水の交流を阻害することになるのでとくに夏季には十分配慮しなければならない。10~15 日間隔で網替えを行なうことが理想といえる。

Fig. 1. Change of current speed in a series of floating net cages of different mesh size located parallel to the tidal current.
Size of net cage: $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$.
Current speed of the outside sea: $0.7 \sim 1.9 \text{ cm/sec}$. No fish were stocked.

Fig. 2. Reduction of the open space area of a net soaked in the water of Ya-shima Bay.
Mesh of the net: 24 yarns Polyethylen fiber, 8 knots. (By Fukuda et al.).

Table 1. Ratio of the mean current speed inside a net cage ($\bar{U}_i$) to the speed of outside current in front of the cage (U_u).

$\bar{U}_i/U_u$	Size of net cage m^3	Mesh size cm	Current speed outside net cage cm/sec	Body weight g	Number of fish stocked $\times 10^3$	Method	Site
0.80	$3 \times 3 \times 3$	2.4*	1.1 ~ 1.4		0	A, B	Sakashizu, Ehime
0.69	$3 \times 3 \times 3$	0.9*	1.1 ~ 1.4		0	A, B	"
0.50	$6 \times 6 \times 6$	2.4*	4 ~ 10	290	5.0	A, B	Akehama, Ehime
0.66	$3 \times 3 \times 3$	2.4*	0.7 ~ 1.9	310	0.27	A, B	Sakashizu, Ehime
(0.75)	$5 \times 5 \times 4.5$	0.5	5.3 ~ 5.8	12	6.3	B	Ni-shima, Hiroshima
0.81	$3 \times 3 \times 3$	2 *	1 ~ 4	100	0.3	A	Ōita
0.35	$20 \times 20 \times 6$	5 *	9 ~ 18	400	9.4	A	Okayama
(0.67)	$20 \times 20 \times 6$	5 *	9 ~ 18	400	9.4	B	Okayama
0.58	$5 \times 5 \times 4.5$	0.5	4.9 ~ 15.1	12	6.3	C	Ni-shima, Hiroshima
0.73	$5 \times 5 \times 4.5$	3	4.1 ~ 11.9	210	1.3	C	"
(0.77)	$10 \times 10 \times 6$	3 **	7 ~ 19	300	6.0	B	Okayama

*: Curemona (Poly vinyl acetate).

**: Wire.

A: Dye method, B: Current meter method, C: Float method.

(): Measurements of the current speed inside a cage were made near the wall of the cage.

実際に魚を収容した網生簀の流速の減衰に関する従来の研究を Table 1 に括めた。ただしこの場合、投餌時のデータは除いてある。網生簀外の流速 U_u に対する網生簀内の平均流速 $\bar{U}_i$ の比は $0.35 \sim 0.81$ というように様々である。網糸の種類・撚り、網の目合、網への付着物、網生簀の形状・大きさ・配置状況、収容魚の体重・尾数・活動状況、設置水域の流動状況・地形などに依存することはもちろんである。

§1 で記述したように周辺水域の流速が大きければ、魚群の活動の影響は余りみられないが、 $4 \sim 5 \text{ cm/sec}$ 以下の流速の場合には魚群の旋回運動の効果が著しく現われ、観測値のバラツキも大きく、特に投餌中には外水域の $2 \sim 6$ 倍の流れを示すときさえあるという。

$\bar{U}_i/U_u$ (平均有効流速比と呼ぶことにする) としては $0.5 \sim 0.7$ を使用するのが普通の場合妥当であろう。

流れに平行に一連の網生簀 (魚を収容) を設置した場合は一体どのようになるのであろうか、次のような仮説を前提としてみよう。1) 無収容時における網生簀の平均有効流速比を γ , 2) 収容魚が静止状態にあつて、これによる流速減の割合を λ , 3) 収容魚の活動 (旋回群泳など) による平均付加流速を u として、分離し考えることができるとすれば、No. 1 の網生簀内の平均流速は

$$U_u \gamma \lambda + u$$

で示され、したがって No. n の網生簀内平均流速は

$$U_u \gamma^{2n-1} \lambda^n + u \frac{1 - (\gamma^2 \lambda)^n}{1 - \gamma^2 \lambda} \quad (2)$$

となる。 U_u は上流側での流速である。

Fig. 3, Fig. 4 は愛媛県水試が観測したデータと (2) 式で計算した結果とを比較したものである。Fig. 3 は愛媛県明浜のもので、上流側流速 (U_u) $4 \sim 10 \text{ cm/sec}$, 網生簀大きさ $6 \times 6 \times 6 \text{ m}^3$, 目合 2.4 cm , 1 台当

Fig. 3. Change of current speed in a series of floating net cages located parallel to the tidal current (Akehama, Ehime). Size of net cage: $6 \times 6 \times 6 \text{ m}^3$. Mesh size: 2.4 cm . Number of fish per one cage: 5000. Body weight: 290 g . Current speed of the outside sea: $4 \sim 10 \text{ cm/sec}$.

Fig. 4. Change of current speed in a series of floating net cages located parallel to the tidal current (Sakashizu, Ehime). Size of net cage: $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$. Mesh size: 2.4 cm . Number of fish per one cage: 270. Body weight: 310 g . Current speed of the outside sea: $0.7 \sim 1.9 \text{ cm/sec}$.

り収容尾数 5.0×10^3 , 魚体重 290 g である。 $r = 0.8$, $\lambda = 0.5$, $u = 0.7$ として (2) 式で計算した値 (実線) は観測値をよく説明している。図中の点線で表示したものは無収容時つまり $\lambda = 1$, $u = 0$ の場合である。1, 2, 3 番目までは無収容時より生簀内平均流速は低いが, 4 番目ではほとんど変わらない。また収容時において 3 番目と 4 番目の間にはほとんど差のみとめられないことも特徴である。通過流速が次第に減ずるにつれて収容魚の影響が大きく現われてきていることがわかる。

Fig. 4 は愛媛県坂下津の場合であるが, 上流側流速 (U_u) は小さく $0.7 \sim 1.9$ cm/sec の範囲で, 網生簀の大きさ $3 \times 3 \times 3$ m³, 目合 2.4 cm, 1 台当り収容尾数は 270, 魚体重 310 g である。 $r = 0.6$, $\lambda = 0.8$, $u = 0.3$ と見積つて (2) 式から計算した平均流速 (実線) は実測値とほぼ一致する。この場合, 魚を収容していない時 (点線) よりも網生簀流速が魚群の活動で大きくなっている。特にこの現象は 2 番目, 3 番目において顕著である (ただし投餌中は除外している)。

明浜では月 3 回の網替えがあり, 坂下津では月 2 回の網替えであることを考慮して r 値を見積つた。また茨城水試がコイの網生簀養殖で, 網生簀の大きさ, 目合いが同じであれば, コイの活動による水の交流量は収容尾数に比例して増すことを示している。したがって, 明浜での収容密度は 23 尾/m³, 坂下津では 10 尾/m³ であつたことを考慮すれば, 相対的にはこの両者における付加流速は収容密度に比例するとしてよからう。(ただし網生簀の大きさの影響は無視している。) 300 g 程度のハマチを平面上に配置した場合, 1 m² 当りほぼ 50 尾を並べることができるから, 明浜で 23 尾/m³, 坂下津で 10 尾/m³ の収容密度の場合, 1 m² に収容魚を重ならないように射影したときの空隙面積として λ を推算している。しかしながら λ , u の見積りは十分の裏付け資料に基づくものではなく, このような数値を仮定すれば一応観測結果の説明がつくという程度のことである。今後これらの諸点を明らかにしなければならない。

§ 3. 網生簀の海水交流

網生簀の海水交流は設置水域の流れによるものと収容魚の巡回群泳により惹起される交流とからなる。このため極めて緩慢な流れの場に設置された網生簀でもかなり高い収容密度を保つことができる。ただし多数の網生簀が相接して設置される場合は別である。

海水交流量を把握することは適正収容密度の決定へとつながる。

網生簀における海水交流量を測定する方法は, (1) 平均流速法, (2) 物質収支法, (3) 物質濃度希釈法に大別されよう。

(1) 平均流速法

設置水域の流速が $4 \sim 5$ cm/sec 以上であつて, 生簀内ハマチの群泳の影響が著しくなく, 生簀内外の流向がほぼ一致するような条件の場合に適用できる。この場合, 色素を流すか, 海流板を使用して生簀内の平均流速を測定する。一定時間間隔で測定すれば時間交流率 (1 時間に生簀内を通過する水量をその生簀の容積で割つた値) の日変化を知ることができる。網生簀内平均流速を $\bar{U}_i$ m/hr, これに直角な通水断面積を A m² とすれば, 時間海水交流率は $\bar{U}_i A/V$ である。 V は生簀の容積 m³ とする。

§ 2 の Table 1 の説明で述べたように, 生簀外 (上流) 流速 U_u に対する内部平均流速 $\bar{U}_i$ の比, つまり平均有効流速比がわかつていれば, U_u を測定することにより, $\bar{U}_i$ を見積ることができる。ただし前記のような諸条件により平均有効流速比はかなり変わるので注意しなければならない。観測のできないとき, または設計に際しては, 平均有効流速比として $0.5 \sim 0.7$ を使用するのがよい。

愛媛水試²⁾は設置水域の潮流の日平均流速が 1.3 cm/sec (1965 年 8 月 26 日大潮期) とかなり緩慢な坂下津地区に設置された 6 台の網生簀 ($3 \times 3 \times 3$ m³, 目合 2.4 cm, 収容尾数 1 台当り 218~292, 魚体重約 310 g) について, 24 時間にわたり生簀内通過平均流速を測定し, 日平均時間交流率を求め $4.9 \sim 7.3$ を得ている。同年 8 月 20 日小潮期では $3.0 \sim 3.9$ の程度であつた。また設置水域の潮流の日平均流速が 5.7 cm/sec (1965 年 8 月 12 日大潮期) の明浜地先で 9 台の網生簀 ($6 \times 6 \times 6$ m³, 目合 2.4 cm, 収容尾数 1 台当り 4800~5200, 魚体重約 290 g) については, 日平均時間交流率 $7.9 \sim 15.3$ を得た。岡山水試¹¹⁾が目合 5 cm,

Fig. 5. Diurnal variation of hourly rate of water exchange in the net cage ($5 \times 5 \times 4.5 \text{ m}^3$) floated at the sea surface of Daiō Bay, Hiroshima.
 Body weight: A = 12 g, B = 209 g.
 Number of fish stocked: A = 6300, B = 1300.
 Mesh size: A = 0.5 cm, B = 3 cm.
 Current speed of the outside sea: 0~15 cm/sec.
 Observations were made immediately after renewal of the net.

収容尾数 1300 であった。一般的には夜間の交流率は小さく昼間は大きく、ハマチの活動の様相と一致する。つまりハマチの活動による海水交流の助長がみられる。8月の日平均時間交流率は 30.4, 6月には 17.6 である。設置水域の潮流状況はほぼ同じであるのに8月の交流率の高いのは、魚体重の大きいこと、網の目合が 3 cm と大きいことによるのであろう。19~20 時に時間交流率の高いのはいずれの日においても、この上げ潮ないしは下げ潮中期に設置水域の潮流が比較的速かつたことによるのであるが、他の上げ潮時には速い流れを観測していない。理由はよくわからない。

(2) 物質収支法

周辺水域の流速がかなり弱い場合でも、また平均流速法の適用できるかなりの流れのある場合にも適用できる。通常は溶存酸素収支による。この方法を生簀に適用したのは橘高⁹⁾である。彼は光合成のない夜間の生簀内の溶存酸素量は (3) 式によつて変化するとした。

$$\frac{dR}{dT} = \frac{Q_{in}}{V} (R_0 - R) + \frac{K_L}{H} (R_S - R) - \frac{C_1}{V} \quad (3)$$

R は T 時における生簀内平均溶存酸素量 (g/m^3), R_S は生簀内条件に対応する飽和溶存酸素量 (g/m^3), V は生簀の容積 (m^3), Q_{in} は単位時間に生簀に流入する水量 (m^3/hr), K_L は物質移動係数 (m/hr), H は生簀の深さ (m), C_1 はハマチその他生簀内の生物・無生物による単位時間当り酸素消費量 (g/hr) である。

生簀内の溶存酸素量はハマチの正常な生活に必要なある一定量を保つものとすれば, $dR/dT = 0$ であるから, (3) 式より

$$\frac{Q_{in}}{V} = \left\{ \frac{C_1}{V} - \frac{K_L}{H} (R_S - R) \right\} / (R_0 - R) \quad (4)$$

橘高は時間海水交流率を (4) 式から見積るために溶存酸素収支を適用したのではなく、周辺水域の流速からハマチの収容量を推定したのである。

(4) 式において空気中からの酸素溶入の項を無視すれば

大きさ $20 \times 20 \times 6 \text{ m}^3$ (魚体重 260 g, 収容尾数 12400) の網生簀について生簀内平均流速を色素、海流板で測定した。この結果から生簀外流速 9.8 (9~11) cm/sec および 16.0 (15~18) cm/sec のときの時間海水交流率としてそれぞれ 11.9 および 18.5 が得られる。

久岡ら⁵⁾は広島県大浜湾に設置した網生簀について海流板を使用し1時間間隔で生簀内通過平均流速を測定し、これより時間海水交流率の日変化を求めている。この結果を時間海水交流率に換算し日変化として描いたのが Fig. 5 である。生簀の大きさは $5 \times 5 \times 4.5 \text{ m}^3$, 生簀外流速は 0.8~15 cm/sec である。観測はいずれも網替え直後に実施している。6月には網の目合が 0.5 cm, 魚体重 12 g, 収容尾数 6300 であり, 8月には目合 3 cm, 魚体重 209 g, 収容尾数 1300 であつた。

Table 2. Oxygen contents inside and outside a net cage and hourly rate of water exchange.

Site and date	Size of net cage m ³	Mesh size cm	Body weight g	Number of fish stocked	Inside		Outside		Hourly rate of water exchange	Note
					W. T. °C	D. O. ml/l	W. T. °C	D. O. ml/l		
Wakamatsu 6 Aug. 1965	3.3×3.3×3.3	0.5	250~300	1500	25.2	4.33	25.0	4.70	10.9	A-2*
					25.2	4.32	25.0	4.70	10.6	A-3
					25.0	4.47	25.0	4.70	17.6	A-4
					25.2	4.43	25.0	4.70	15.0	A-5
					25.4	4.36	25.0	4.70	11.9	A-6
Ōsaki 17 Aug. 1965	10×10×4.5	3.8	300	3800	28.1	4.47	28.0	4.61	15	0900**
					28.8	4.52	28.6	4.67	14	1200

*: Mark of netting cages.

**: Time of day.

Fig. 6. Diurnal variations of water temperature, dissolved oxygen content, tidal level and hourly rate of water exchange in a net cage floated at the sea surface of Fukuda Fishfarm, Kagawa.

Size of net cage: 15×15×8 m³.

Mesh size: 6.1 cm.

Body weight: 1 kg.

Number of fish stocked: 10000.

$$\frac{Q_{in}}{V} = \frac{C_1}{V(R_0 - R)} \quad (5)$$

となる。江草¹⁾は (5) 式の C_1 の構成要素の主体は収容魚の呼吸であるとし、 $C_1 = kN$ (k は収容魚の単位魚体重当り単位時間呼吸量 g/kg·hr, N は収容魚の総魚体重 kg) において、淡水とくに湖沼に設置した養鯉網生簀の時間交換率を求める方法を述べている。

この江草の方法にならつて、長崎水試¹⁰⁾はハマチ養成網生簀における時間海水交換率を算出した。長崎県南松浦郡若松 (若松瀬戸の小入江付近で潮通しがよい) と佐世保市大崎 (リアス式海岸に散在する島の近傍に設置され潮通しがよい) での結果を Table 2 に示す。若松では8月上旬、網生簀の大きさ 3.3×3.3×3.3 m³、目合 0.5 cm、魚体重 250~300 g、収容尾数 1500 の場合、時間海水交換率は 10.6~17.6 であり、大崎では8月中旬網生簀の大きさ 10×10×4.5 m³、目合 3.8 cm、魚体重 300 g、収容尾数 3800 の場合に、時間海水交換率は 14~15 であった。

井上⁷⁾は網生簀内溶存酸素量は (6) 式によつて表わされるとした。

$$\frac{dR}{dT} = \frac{Q_{in}}{V} (R_0 - R) + \frac{K_L}{H} (R_S - R) - \frac{kN}{V} + (P_P - P_C) \quad (6)$$

P_P , P_C はそれぞれ生簀内単位容積海水の単

Fig. 7. Diurnal variations of water temperature, dissolved oxygen content and hourly rate of water exchange in the cage of double-walled netting floated at the surface of Shido Bay, Kagawa.

Size of net cage: inside $7 \times 7 \times 3 \text{ m}^3$, outside $9 \times 9 \times 3 \text{ m}^3$.

Mesh size: inside 3.4 cm, outside 3.0 cm.

A: 1 day after renewal of the net. Body weight of the fish 250 g, Number of fish stocked 3000.

B: 13 days after renewal of the net. Body weight of the fish 225 g, Number of fish stocked 3000.

の活動は平常に復するが、夜間に比べればはるかに活動的であることがわかる。

井上ら⁷⁾は香川水試⁸⁾が香川県志度湾奥部に設置した網生簀について2時間間隔で内(0, 1, 2, 3 m 深), 外(0, 1, 2, 3, 4 m 深)で溶存酸素量を測定した結果を(7)式を適用して解析し Fig. 7-A と 7-B を得ている。この場合, k の値として昼間 $0.88 \text{ g/kg} \cdot \text{hr}$, 夜間 $0.60 \text{ g/kg} \cdot \text{hr}$ を用い, P_C として $0.06 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$ を仮定した。網生簀は二重網で内網は $7 \times 7 \times 3 \text{ m}^3$, 目合 3.4 cm, 外網は $9 \times 9 \times 3 \text{ m}^3$, 目合 3.0 cm である。8 月 9~10 日 (Fig. 7-B) には魚体重 0.225 kg , 収容尾数 3000 で網替え後 13 日を経ている。あま

位時間当り酸素生産量(光合成による)と酸素消費量である($\text{g/m}^3 \cdot \text{hr}$)。実際には dR/dT は 0 でなく, また一定でもない。生簀内平均溶存酸素量は様々な日変化を示す。(6) 式から

$$\frac{Q_{in}}{V} = \left\{ \frac{dR}{dT} - \frac{K_L}{H} (R_S - R) + \frac{kN}{V} - (P_P - P_C) \right\} / (R_0 - R) \quad (7)$$

井上ら⁷⁾は(7)式によつて時間海水交流率の日変化の模様を調べた。香川県小豆島福田にて, 2時間間隔で生簀内2点(1, 2, 5 m 深), 生簀外2点(1, 2, 5 m 深)の溶存酸素量を測定し, 同時に生簀周辺で明・暗瓶法にて P_P , P_C (0.5, 1, 2, 5 m 深)を測つた。1967 年 11 月 10~11 日である。網生簀の大きさは $15 \times 15 \times 6 \text{ m}^3$, 目合 6.1 cm, 魚体重 1 kg, 収容尾数 10000 尾で, k の値として夜間 $0.40 \text{ g/kg} \cdot \text{hr}$, 昼間 $0.55 \text{ g/kg} \cdot \text{hr}$ を使用した。 K_L は流れの状況から判断し 0.06 m/hr とした。海水の O_2 総生産量は平均(網生簀深の間) $0.604 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$, O_2 消費量は $0.582 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ であつた。 O_2 総生産量は 1 m 深での水中照度により配分し, 各時間間隔での平均 P_P とした。このようにして求めた時間海水交流率の日変化は Fig. 6 のとおりである。

自明のことながら, 一般的には, 上げ潮・下げ潮時に時間交流率は大きく, 幾分時間の遅れはあるが潮の停滞する頃に交流率は小さい。夜間における時間交流率は $11.9 \sim 20.8$ (平均 16.5), 昼間には $17.7 \sim 32.2$ (平均 24.0) で, 日平均としては 20.5 を与えることができる。日出の約 1 時間前頃からハマチの運動が活発になり, これにより惹起される海水交流が潮流による交流に付加されて $10 \sim 11$ 時頃まで交流率は大きい。その後ハマチ

Fig. 8. Change with time of the concentration of Fluorescence Dye in two kinds of cages.

A: $0.9 \times 0.55 \times 0.4 \text{ m}^3$, 30 mesh, in a small pond.

B: $5 \times 5 \times 5 \text{ m}^3$, in Kasumi-ga-ura.

網の目詰りは海水の交流を著しく阻害するから、特に設置水域の流れがきわめて緩慢な場所ではこの点注意が必要である。

なお、溶存酸素収支法によつて海水交流率を算出する場合、飼育魚の呼吸量の見積りが結果に大きく影響する。現状ではハマチの活動度と呼吸量の関係、摂餌量と呼吸量の関係などあまり明確ではない。この点は今後の研究課題として残る。

(3) 物質濃度希釈法

内湾の奥部のようにきわめて流れの緩慢な水域に網生簀を設置したような場合には、魚群の巡回運動が海水交流の主役を演ずることになる。したがつてこの場合網生簀内通過平均流速は測定できず、また網生簀内外の酸素量の日変化から前述の方法によつて時間交流量を求めようとすれば網生簀外の測点の選定が問題になる。なぜならば、網生簀の影響が全周辺におよび溶存酸素量の水平・垂直分布の状態を十分把握しなければならず、また把握したとしても依然として流入水の溶存酸素量の決定が困難である。

このような場合には、茨城水試⁶⁾が行なつた fluorescence 濃度希釈法が海水交流率を見積る 1 つの方法であらう。fluorescence を投入しよく攪拌し $T = 0$ での濃度 C_0 , $T = T$ における濃度 C とすれば

$$C = C_0 e^{(-Q_{in}/V)T} \quad (8)$$

の関係があるから、初期濃度と T 時間後の濃度を測定すれば Q_{in}/V を推算できる。

茨城水試は池および霞ヶ浦北浦で魚を収容しない場合について前記方法できわめて流れの緩慢な状態での交流率を測定した。 C/C_0 が T とともに変化する模様を Fig. 8 に示す。茨城水試では養鯉について多くのデータを出しているが、それによれば、交流量は収容尾数に比例して増加すること、コイの体重の増加とともに交流量が急増することを明らかにし、極めて緩慢な流れの水域では収容コイが水の交流を促進する役割が大きいと述べている。今後これに類似の方法によつてハマチ養成網生簀についての研究が期待される。

文 献

- 1) 江草周三: 第4回人工湖利用部会資料, 全国湖沼河川養殖研究会 (1963).
- 2) 愛媛県水産試験場: 魚類養殖環境要因調査報告書, 1~22 (1965).
- 3) 堀田 清・前川忠夫・河野義広・大西正明・福本秀幸: 香川大農学報, 17, 120~124 (1966).
- 4) 広島県水産試験場: 魚類養殖環境要因調査報告書, 1~10 (1965).
- 5) 久岡 実・野上和彦・竹内 脩・鈴木正也・杉本仁弥: 内水研報, 23, 21~43 (1966).
- 6) 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所: 魚類養殖環境要因調査報告書, 1~22 (1967).

- 7) 井上裕雄・田中啓陽：未発表（本誌投稿予定）。
- 8) 香川県水産試験場：魚類養殖環境要因調査報告書，1～30（1965）。
- 9) 橘高二郎：水産増殖，7，7～30（1959）。
- 10) 長崎県水産試験場：魚類養殖環境要因調査報告書，1～43（1965）。
- 11) 岡山県水産試験場：同誌，1～23（1965）。
- 12) 大分県水産試験場：同誌，1～26（1966）。
- 13) 徳島県水産試験場：同誌，1～32（1965）。