Port Alberni 及び Port Mellon, B. C. における パルプ工場環境影響研究

I. K. バートウエル, R. M. ハーボ

Pulp Mill Impact Studies at Port Alberni and Port Mellon, B.C.

I. K. Birtwell and R. M. Harbo

Habitat Protection Division, Resource Services Branch Department of Fisheries and Oceans

The discharge of pulp and paper mill effluent into the Somass estuary, Port Alberni, did not significantly affect nearshore utilization by juvenile chinook salmon. However, major changes occurred in the diet of fish captured close to the discharge. In-situ bioassays, preference-avoidance experiments and gill net data revealed that salmonids could only utilize the estuarine surface waters and not the deeper waters containing low levels of dissolved oxygen. At Port Mellon, the discharge of pulp mill effluent affected the use of nearshore areas by fish. In-situ experimentation determined that the surface waters proximal to the pulp mill outfalls were acutely toxic to juvenile salmonids which effected avoidance reactions.

概 説

水生有機体に対するパルプ工場排水の致死及び準致死影響が実験室実験により研究されて来た¹⁾が、排水放流水域に対するこれら排水の影響に関する情報は少なかった。実施されて来た分野の研究によると、サケ稚魚は水質低下区域を避けるらしい²⁾³⁾⁴⁾。我々は B. C. 州の排水放流の必要性和漁業資源間のいかなる潜在的コンフリクトもサケの固着と生育にとって価値あるすみ家と考えられる河口と近海において最も緊急の問題と考えた。したがって、パルプ工場排水放流が Somass 河口 (Port Alberni) と Howe 海峡 (Port Mellon) において漁業資源に影響を与えるかどうか知るため 1975 年と 1978 年の間に 2 つの調査を行った。

調査地点

Port Alberni (図 1) は B. C. 州バンクーバー島西岸 Alberni 入江入口にある。Somass 河は入江の源流となり、そのため河口は層状になり、海中の塩分濃度垂直こう配ははっきりする。この河口に位置する紙パルプ工場は河口上層水流に排水約 175×10^6 l/日を放流

し、支配的密度条件のため塩分濃度こう配以上になる傾向がある⁵⁾。溶存酸素レベルはすぐ下の水流中の光合成を妨げる排水のフミン質汚染のため、一般に塩分濃度こう配以内及び以下である⁶⁾。

この水系の漁業資源の重要性は毎年 240×10^3 という大量のサケ稚魚の逃避でもわかる。さらに Robertson 川養魚場は毎年大量のサケ稚魚 (1979 年 8.7×10^6 chinook, 500×10^3 Coho, 60×10^3 ニジマス) を放魚する。

Port Mellon (図 2) は B. C. 州南西海岸 Howe 海峡に面している。パルプ工場は酸性、アルカリ性別々の下水路により約 125×10^6 l/日の排水を Thornborough 海峡の黒みがかった表流水に放流する。最上層の排水濃度は最大で、その後深さと排水口からの距離により低下する。

毎年約 390×10^3 のサケが逃げることから Howe 海峡に入る河川の生物学的重要性がわかる。

材料と方法

Port Alberni においては 1975 年 3 月と 1976 年 4 月の間、Port Mellon では 1976 年 5 月と 1978 年 8 月の

Fig. 1 Sampling and Experimental Sites in the Estuary of the Somass River, Port Alberni.

間調査が行われた。特定の研究対象についてサンプリング地点は図1と2に示してある。

魚捕獲 海岸引き網（訳者註：引き寄せて捕魚する網の総称。多くはのう状で左右に袖網が付いていて、これを引き廻して海岸又は船上で引揚げ）は干満地帯で魚を捕えるため満潮時に張った。Port Alberniで10の各地点で1975年3月と8月の間2週に1回、連日の内1日サンプルを採り、その後1976年4月までほぼ隔月にサンプルを採った。Port Mellonでは1977年5月と7月の間7回、1978年8月と9月の間5回、11地点でサンプルを採った。

Port Alberniでは6地点で魚の垂直分布を知るため浮游（0.0~2.5 m）及び沈下（2.5~5.0 m）刺し網（訳者註：帯状で海中に垣のように張り、魚を網目にかからせ、又は巻きつけて捕獲する網）を使用した。1975年3地点で第12期の夜、網で魚を捕えた。Port Mellonで1977年、6回5地点のサンプルを採った。沈下網は5.0~7.5 m深さの点に仕掛けた。

現場バイオアッセイ 調査区域の支配的水平及び垂直方向水質条件とサケ稚魚（0才）生存率との関係を知るため模擬バイオアッセイを採用した。

Port Alberniでは6地点、Port Mellonでは4地点で決められた深さの50 l ナイロン編みゲージ（10匹/ゲージ）に魚を入れた。

好嫌実験 水質変化に関するサケ稚魚（0才）の垂

Fig. 2 Sampling and Experimental Sites at Port Mellon in Howe Sound.

直分布を知るため現場好嫌実験を行った。装置及び方法については Birtwell⁷⁾ が詳細に述べており、ここでは簡単にふれる。6.0×0.5×0.5 m 直方体の水柱部分は表面水からフロートで支持された装置（長軸垂直）に包まれる。実験用魚60匹は一定時間その囲み内を自由に移動し、その後1.0 m 間隔の門を閉ぢる。その後魚の垂直分布を調べ、その結果は支配的水質（温度、塩水度、pH、溶存酸素、酸化還元電位差及び色度）と比較する。

魚のえさ Port Alberni では、胃内容物分析のため各サンプル採取時1品種当り最高15の稚魚が15地点（図1の地点4, 5, 10, 11, 16）で採取された。その結果はこれらサンプル採取点の多数の底泥無脊椎動物に関連して評価された。

結果及び考察

Port Alberni 分布及び条件

Port Alberni では海岸引き網で合計15,571匹が捕えられ、その内66%はサケであった。Sockeye, Chum, Coho サケ, ニジマス, cutthroat マス稚魚は全体の9%であるのに対し、chinook 稚魚は57%あった。Chinook サケ稚魚は4月から7月の間のみ河口を利用し、あらゆるサンプル採取点で捕えられた。データ分析を容易にし、Somass 河口のある区域が魚によって好まれたり、嫌われたりするのを知るために、4つの「すみ家」区域が地点1~5（Aゾーン）、6~10（Bゾーン）、11~15（Cゾーン）、16~20（Dゾーン）を含め設けられた。サケ捕獲は工業及び市街区域（Cゾーン）に接近して減少傾向があるが、A, B, C,

Dゾーン間の捕獲数には大きい差 ($p \leq 0.05$) はなく、魚はあらゆる有効なすみ家を利用することを示す。水質データに使用する変動分析により別のデータグループ分けを使用した。こうしてあきらかに色度の高い区域はグループ分けされ、ゾーン1 (地点 4, 11, 12, 13, 14, 15 を含む) として扱われる。残りの地点はゾーン2とされる。再びゾーン1と2の間に Chinook 稚魚捕獲数に大きい差はなく、紙パルプ工場排水により再三希釈される区域を避けないことを示す。さらに、長さ、重さ、及び条件データの分析により“よりよい”条件下の大きい魚がゾーン1に見られる。このことが環境質と関連する実際面であるかどうかはこれらのデーターSomass 河からの好ましい又はもっと直接的ルート内の、多くの養魚場で生育した魚を捕えることに関係ある一的重要性にとって問題点である。1975年 Chinook 稚魚 1.7×10^6 が Somass 河に入る水系に Robertson 川養魚場から放流された。これらの魚は一般に大きく天然生育の Chinook より“良い”条件下にあり、その河口利用期間ははるかに短い。

魚のえさ

Chinook サケ稚魚の腹中内容物分析と Somass 河口の5地点 (地点 16, 10, 5, 4, 11) の底質動物組成の比較は、魚分布と条件に関する上記知見の助けとなる。Chinook 稚魚のえさは河口を通じて変化し、特定の発生微生物の選択を変えた。ハマトビムシは望ましいえさであったが、微生物として東方パルプ工場へ向って底質動物中で減少し、昆虫は重要になった。実際に紙パルプ工場排水による希釈をいつも受けている区域 (地点 11) 内でオリゴキレートは大部分魚のえさ (ハマトビムシは見られない) から成る。Chinook サケ稚魚は食物有効性に関してえさの変化を伴う偶発的えさの供給物であったようである。この点に関し、食物は明らかに分散を制限し、その条件も制約するのに役立つ要因ではなかった。

生存

現場パイオアッセイデータは実験地点間の魚死亡率の大きい差を同定しなかった。しかし、いろいろな水深に保たれた魚の死亡率には大きい差があった。6.5 m (海中塩分濃度垂直こう配以下の) に保たれる魚は24時間以内に死亡したが、4.0 m と 0.5 m 水深でははるかに生残った。14日後表面水 (0.5 m) 内の平均魚死亡率は約25%で、4.0 m 水深では約83%であった。水深部の魚死亡率の最も正しい理由は溶存酸素、温度、塩水度のレベル変動であった。温度、塩水度変動は魚にとって耐えられると考えられる範囲内にあるが、溶存酸素レベルはしばしばきわめてストレスのか

かるレベルにあり⁸⁾、その範囲は水深 6.5 m で空気飽和度 5~90%、4.0 m で 5~100%、0.5 m で 65~160%であった。

垂直分布

好・嫌実験結果によると Chinook 稚魚は 0.0~1.0 m 水深間隔を好む。時々 Chinook 稚魚は海中塩分濃度垂直こう配以内又は以下に浸漬してあり、水深、関連温度、溶存酸素変動において塩水度が元来大きく変化する装置の最低部は完全に避ける。データを段階的多重回帰分析すると、温度、溶存酸素及び塩水度は Chinook サケ稚魚の垂直分布に影響を与える。最も重要な変数は溶存酸素であった。低溶存酸素レベルは、Chinook サケ稚魚数にきわめて高い相関性があった。

Somass 河口内の塩分濃度垂直こう配以下の水層を避けることは刺し網漁獲で実証された。明らかにもっと多くのサケ (74) が 0.0~2.5 m ゾーンで捕えられ、このゾーンの全捕獲の32%に当るが、もっと深い水層 (2.5~5.0 m) では1%にすぎなかった¹⁵⁾。さらに向流式水質分析によれば、深層部は溶存酸素レベルが低く表面水層のサケを制限して来たようである。

Port Mellon

分布

全体9,084匹の魚が Port Mellon の海岸引き網で捕えられ、その内サケは5.5%にすぎなかった (Chum サケ稚魚は4.4%)。魚の内大部分は (74.1%) トゲウオであるが、ニシン、イカナゴはそれぞれ9.3%、5.5%であった。個々のサンプル採取地点の漁獲データによると、排水放流区域に接近してサケの数、魚全数、種類に減少傾向がある。

魚捕獲データについて分散分析すると、多分データと制限付サンプル採取区域がいろいろ変化するので、地点間に大きい差があることにはならなかった。このことは排水がサケ稚魚に急性 Toxic であることを考えると驚くべき結果であった。同様に刺し網を使う地点間に捕獲魚に大きい差はないが、排水放流口に近い所では魚の数と種類は減少傾向がある。さらに、パルプ工場排水濃度の高い場所の水面 (0.0~2.5 m) 刺し網でサケは多く捕えられた。サケ稚魚はたとえパルプ工場排水濃度の高い表面水が急性 toxic であるとしても、避けないことがはっきりした。

生存

地点4における0.5 m 水深間隔で5.5 m までで行った反覆パイオアッセイ実験によると、排水放流点付近の水域は Chinook, Chum, Coho サケ、ニシン稚魚にとって急性 Toxic である。この結果は変動するが、

死亡率は最上水層で最大で、排水放流点からの距離により減少する。最急性 Toxic 効果は排水放流点から 350 m 以内にあった。

垂直分布

好・嫌実験は排水放流水域が Chinook, Clum, Coho サケ稚魚の垂直分布に影響を与えるかどうか調べるため実施された。特に Chum サケは注目された。サケ科の各魚は同じように反応し、サンプル採取点 1~4 の各々の反応に大きい差はなかった。しかし、実験データに分散分析と Newman-Keul テストを適用すると、地点 1 の魚の反応が地点 3 と 4 での反応とは異なる地点 2 と異なることがわかった。排水放流区域に近い地点（地点 1 と 2）ではサケ科の魚についての通常の垂直分布状態は逆になり表面層を避けた（図 3）。

色度測定はパルプ工場排水の適切な指示法として使用され、魚分布状態に示すような忌避反応の重要性は排水放流口から 80 m と 1,750 m はなれたサンプル採取点間の色度変化に反映する。

こうしてサケ科の魚に忌避反応を与えるのは、排水放流口から 350 m と 950 m はなれた区域に限られた。段階的回帰分析によりさらにデータを分析すると、測定されたあらゆる水質変数の内、色度は表面水系の魚に影響する最重要変数であり、データの変動の 48% に当る。例えば Chum サケについて回帰方程式は、

$\log(\text{魚の数}+1) = 2.29 - 0.55(\log \text{色度})$: $n=69$ であった。さらに色度はサンプル採取区域を通して距離に最も強く関係する変数であった。

$\log \text{色度} = 4.039 - 8.517(\log \text{距離})$: $n=150$,
 $R^2 \ 0.66$

これらのデータからの結論はパルプ工場排水はサケ科の魚に忌避反応を与えるということであった。このようなデータは魚捕獲情報と部分的に矛盾する。なぜなら、サケ科の魚はもし完全な忌避反応が生ずれば、排水放流口に近い Toxic 表面水では捕えられないからである。この見掛上逆説的状況を調査するため、さらに排水放流口に最も近い対照地点 4 と 1 で平行して平行的 24 時間 バイオアッセイ と好・嫌実験が実施された。実験の知見は結果の一般的性質を明らかにする。地点 1 では水深 3.0m 以上の水中に保たれた魚は死亡したが、この水深レベル以下の魚は生存した。選択実験ではあらゆる魚は 3.0m 以下に見られ、その最多数 (65%) は装置の最低室に見られた。0.0~3.0 m 水深範囲では Toxic 完全忌避が見られたが、装置の最低部分の魚の 25% が死亡した。もし連続的に忌避反応が見られたら、魚はバイオアッセイ実験に示されるように生存するに違いない。この結果は魚捕獲情報と合

Fig. 3 Results of 3h Preference-Avoidance Experiments with Juvenile Chum Salmon (June 9, 1977).

致し、魚は表面水系内の排水致死濃度を継続して避けないことを示す。多分、サケ稚魚が表面水系に入らねばならないという先天的必要条件が死亡に連なる急性 Toxic 排水濃度に対する忌避反応を克服したのだろう。

結 論

Port Alberni

刺し網情報による好・嫌及びバイオアッセイ実験のデータによると、サケ稚魚にとって不適切な水質条件は Somass 河口の塩分濃度垂直こう配以下にある。パルプ工場排水の表面放流はより深い水域の植物プランクトン光合成を抑制し、そのため溶存酸素レベルは低下する。その結果、サケ科の稚魚は塩分濃度垂直こう配以上の表面水系に限られる。

Somass 河口のサケ科稚魚利用期間は最近では B.C. 州の“非汚濁”河口よりも短い。もし塩分濃度垂直こう配以下のもっと塩水度の高い水系で溶存酸素レベルが上昇すれば 2 才以降の子ザケ利用期間延長が期待できよう。

紙パルプ工場排水は、たとえ工場近辺でえさが大きく変わっても Somass 河口中のサケ科の魚の水平分布に大きい影響を与えなかった。

Port Mellon

工場排水放流口近くで漁獲量が減少するが、Howe 海峡内の沿岸サンプル採取点の間の漁獲（種類と数）に大きい差はなかった。

現場バイオアッセイ実験により、パルプ工場排水が希釈される Howe 海峡の表面水系がサケ科の稚魚にとって急性 Toxic であることがわかった。この影響は一般に排水放流口から 350m 以内に限られた。

好・嫌実験の結果から Chinook, Coho, Chum サケ

稚魚がパルプ工場排水放流口に近い表面水系は避けることがわかった。排水放流口から 350~950 m 以内で明らかな忌避反応が生じた。高い色度はこれら忌避反応と深い関係があった。

刺し網データと、一サケ科稚魚が表面水系中のパルプ工場排水致死濃度を連続的に避けないことを示すための一長期的平行的バイオアッセイと好・嫌実験からでも若干の証拠がある。

謝 辞

オヒョウ保護部門スタッフと S. Prothero, D. Jeffries の援助に感謝する。

引用文献

1. Walden, C. C. : Water Research, 10 : 635 (1976).
2. Fujiya, M. : J. Water Pollut. Control. Fed., 33 : 968 (1961).

3. U. S. Dept. Interior. : Fed. Water Pollut. Control Admin., Wash. State Pollut. Control Comm. (1967) 477 pp.
4. Livingston, R. J. : Mar. Biol., 32 : 19 (1975).
5. Parker, R. R. and J. Sibert, Water Research. 7 : 503 (1973).
6. Sibert, J. and R. R. Parker, Water Research. 7 : 515 (1973).
7. Birtwell, I. K. : E. P. S. Tech. Rep. No. EPS-5-AR-77-1. Halifax, Canada., 66 (1977).
8. Davis, J. C. : J. Fish Res. Board Can., 32 : 2295 (1975).

(この報文は 54.11.1 カナダ B. C. 州ビクトリアで行われた環境改善会議の際発表されたものである。)

(王子製紙(株) 国中 洋治)

54 年版特許ダイジェスト発行のお知らせ

かねて特許抄録購読につきましては格別のご支援をいただき厚くお礼申し上げます。

さて、本年度も特許ダイジェストを発行することに致しました。

ご高承のとおり業界における技術革新の急速な進展に伴い、技術情報が増大しておりますので、それらのチェックを能率的に行なうためには、本書が最適であると考えます。

ご希望の向きは部数に限りがありますので、右記事項をご参照の上至急お申込み下さい。

1. 内 容

- 1) 特許, 実用新案の公告公報抄録のみ
2. 掲載件数 380 件

- 3) 分類別に掲載 (公告番号順索引付)

2. 発行期日 6 月上旬

3. 頒 価 9,500 円 (送料共)

4. 申 込 先 協会内特許委員会事務局 (代金は前払い制となっております)

なお、47年版(9,000円)、48年版(8,000円)、49年版(9,000円)、50年版(7,000円)、51年版(8,500円)、52年版(9,500円)、53年版(9,000円)のもの若干在庫がありますので、ご希望の向きは併せてお申し込み下さい。また、新に全巻取揃えご希望の向には、34~46年版は絶版ですが、目次・本文のコピーサービスを致しますので、ご利用下さい。