

溪流におけるリエアレーション～尾鈴山系名貫川での事例～

南九州大学 ○北村泰一 青山朋央 小倉航平

1. はじめに

渓流水質の評価は、各種イオン等の主要成分や浮遊物質 (SS)、pH等を指標として¹⁾、流域の森林植生や地質、荒廃状況、流出特性等と関連づけて検討されることが多い。これに対して筆者らは、溪流では地形落差等による流れの攪乱に起因して大気から水中への酸素の供給 (再曝気; リエアレーション) が活発に行われることに着目し、溶存酸素 (DO) が水質に大きな影響を及ぼしていると考え、再曝気を指標とした渓流水質の評価を試みた。調査の対象とした区間は、宮崎県のほぼ中央部に位置する尾鈴山 (標高1,409m) を源として日向灘に流入する名貫川の上流支流ケヤキ沢の一部区間 (支配

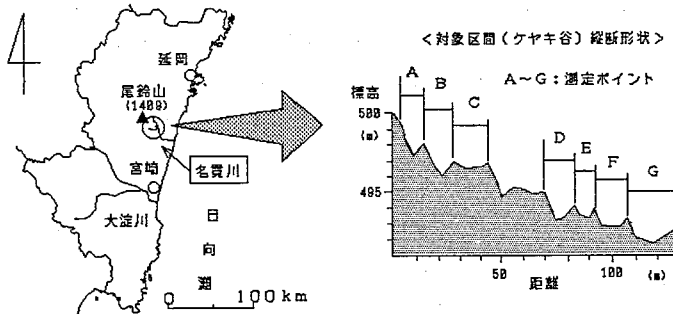


図-1 対象河川の位置

面積 5.94 km、区間長130m、標高差9m; 図-1) である。対象区間の川幅は3~10mで、1m前後の落差が10~20m間隔で分布している。ケヤキ沢流域一帯は天然林や人工林に覆われ、特に上流は尾鈴山瀑布群として天然記念物に指定されている大小の滝が連続する清流であり、溶存酸素濃度に影響する各種イオンや浮遊物質、汚濁負荷の流入はない。

2. 調査方法

大気から水中への酸素の吸収は、表面が攪乱されない状態では水温と気圧に支配されるが、溪流では落下流によって巻き込まれた気泡からの吸収 (図-2中①) と落下流によって攪乱された表面からの吸収 (②) が著しく、再曝気が進行する。この他、水中での酸素供給には緑色植物の光合成 (⑤) があり、これらの過程で供給された酸素は、接触面からの放出 (③)、魚類やバクテリアの呼吸 (④、⑥)、有機物等の分解 (⑦) によって消費されるが、対象区間では緑色植物の光合成による酸素供給と呼吸・分解による酸素消費は非常に小さいと考えられ²⁾、おもに①~③の過程から溶存酸素濃度の変化をとらえることができる。完全混合状態にある体積Vの水塊が表面積Aで大気と接している時、再曝気による溶存酸素濃度の変化は

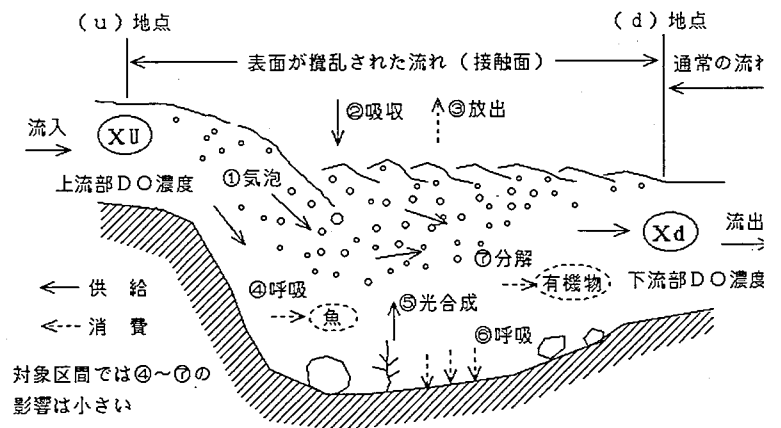


図-2 溪流での酸素の供給消費と調査方法

$$\frac{dX}{dt} = \frac{K_L A}{V} (X^* - X) \quad (\text{式 1})$$

K_L : 物質移動係数
 X^* : 飽和溶存酸素濃度
 X : 溶存酸素濃度

で示される。一般に河川における再曝気は、(式1)に基づき流れの穏やかな河川における日単位での酸素の取り込みを取り扱っているが、溪流では前述の流れの攪乱に起因して数秒～数10秒単位で酸素の取り込みが進むため対象とする時間間隔が非常に短いこと、および図-2中の酸素供給の過程①と②を個別にとらえることは困難であること等の理由から、落下部直前(u)から下流部で通常の流れが回復される部分(d)までを総括的にひとつの連続的な物質移動過程としてとらえると、溶存酸素濃度の変化を次式で示すことができる³⁾。

$$R = \frac{X^* - X_d}{X^* - X_u} = \text{EXP} \left[- \frac{(K_L A)_{ov}}{Q} \right] \quad (\text{式 2})$$

$(K_L A)_{ov}$: 溪流における総括酸素移動係数
 Q : 流量 (m^3/sec)
 X^* : その水温での飽和溶存酸素濃度(mg/l)
 X_d : (d) 地点の溶存酸素濃度(mg/l)
 X_u : (u) 地点の溶存酸素濃度(mg/l)

ここで、Rは上流部に対する下流部の酸素不足量比であり、 X_d および X_u を測定すれば総括酸素移動係数 $(K_L A)_{ov}$ が求まるので、これを目安として溪流水に酸素が取り込まれた度合いを知ることができる。ここでは落差によって区切られたA～Gのポイント毎にD0測定器(東亜電波工業社製水質チェッカー)を用いて X_d および X_u を測定した。測定は各ポイントにおいて水面から鉛直方向に10cm間隔で行い、計算にはその平均値を用いた。また流量Qは、対象区間最上流部(ポイントAの直上流地点)で流速、水深、流下幅を測定し求めた。測定は1993年6月から1994年2月の期間に6回行った。

3. 調査結果

観測時毎の各ポイントでの溶存酸素濃度、平均水温、流量を図-3に示す。平地河川と比較すると、一般に溪流では再曝気の進行に起因して溶存酸素濃度が高く、本結果では8.5～12.7(mg/l) (飽和度80～100%)であり、溶存酸素濃度は水温に影響されるため水温の低い時期において高い観測値が記録された。ポイントAu～Gd間での溶存酸素濃度の変化を見ると、観測時期や区間の違いによって、

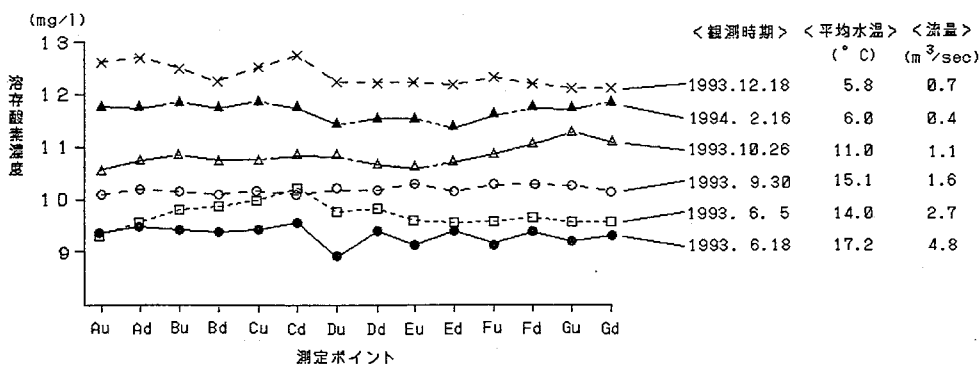


図-3 観測結果

なだらかな変化(上昇・下降)を示すケース、比較的極端に変化するケース、変化しないケースが認められた。総括酸素移動係数 $(K_L A)_{ov}$ をポイント別に比較すると、総じて流量

に応じて $(K_L A)_{ov}$ も増加し再曝気が進行するが、流量の多寡が再曝気に大きく影響しているポイントとそうでないポイントのあることが認められた (図-4)。

ここで本稿における総括酸素移動係数が実際にどの程度の酸素の取り込みを示しているのかを把握するために、(d) 地点と (u) 地点との溶存酸素飽和度の差と総括酸素移動係数の関係を求めると図-5のようになり、今回の総括酸素移動係数の最大値 $6.2 \text{ (m}^3/\text{sec)}$ が、再曝気による約5%の溶存酸素飽和度の上昇と対応している。これは $3\sim 4^\circ \text{C}$ の水温低下によって生じる溶存酸素濃度の変化に相当する。なお1993年6月18日に $4.8 \text{ (m}^3/\text{sec)}$ の流量が記録されたが、この数値は対象区間においては比較的大きい値である。

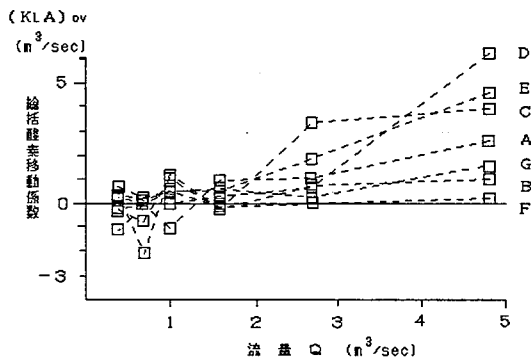


図-4 流量と総括酸素移動係数

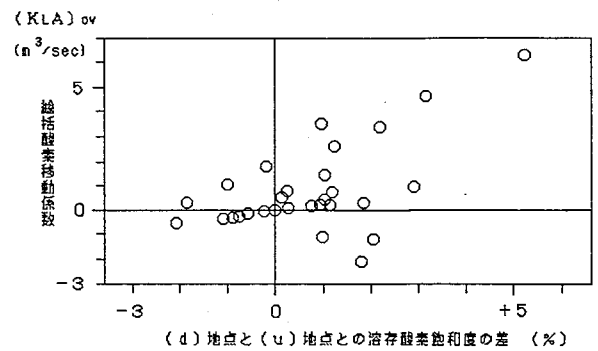


図-5 総括酸素移動係数と飽和度上昇との関連

4. 考察

溪流での再曝気は落下流がもたらす攪乱された表面 (接触面) からの酸素の吸収、および落下流によって生成された気泡からの吸収に起因しているため、地形の落差、接触面積、および気泡が水塊に留まる時間 (滞留時間) が再曝気の度合いに影響していると考えられた。

4.1 再曝気の落差への依存性

A~Gの各ポイントの落差H (各ポイントでの (u) 地点と最低河床との標高差) を考慮し落下流のエネルギーを $\rho g H Q$ (位置エネルギー) として評価し総括酸素移動係数との関係をみると、 $(K_L A)_{ov}$ がある程度 $\rho g H Q$ に依存し落差に応じて再曝気が進む傾向が認められたが明瞭なものではなかった (図-6)。これは対象区間での各ポイントの落差が $0.5\sim 2.0\text{m}$ と大差なく、他の要因が強く影響しているためと推測された。

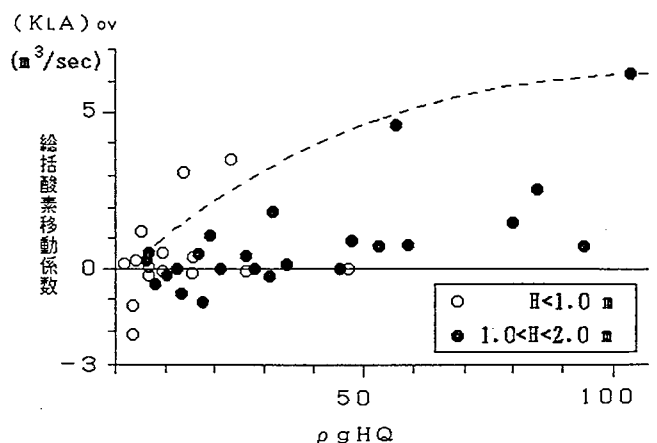


図-6 再曝気の落差への依存性

4.2 接触面積

表面が攪乱された流れの部分の面積 (接触面積) と総括酸素移動係数 $(K_L A)_{ov}$ との関係は比較的強く (図-7)、再曝気には水面の攪乱が大きく関与していることが示された。

4.3 気泡の滞留時間

水塊に酸素が取り込まれるためには、落下によって生成された気泡がある程度の時間水塊に留まる必要があると考えられる。そこで流水の滞留時間を簡便的に（接触面積×平均水深／流量）とし総括酸素移動係数との関係をみると、滞留時間が5～10秒間において $(K_{LA})_{ov}$ が最も高くなり、これより前後の滞留時間ではいずれも $(K_{LA})_{ov}$ は小さくなるという結果になった。これは滞留時間が短いと気泡は表面から放出され、滞留時間が長くなると周囲への酸素の拡散が進みすぎるため、(d)地点での溶存酸素濃度が低下することを説明していると考えられた(図-8)。従って、落下流によって水中に取り込まれた気泡が適当な滞留時間を持つことによって再曝気が進行することが推測された。

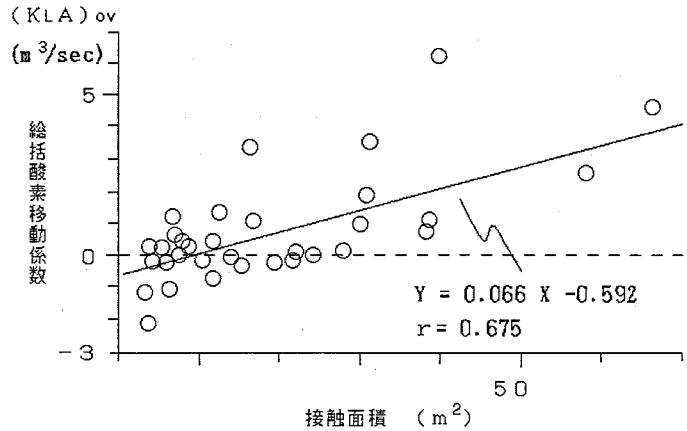


図-7 接触面積が再曝気に及ぼす影響

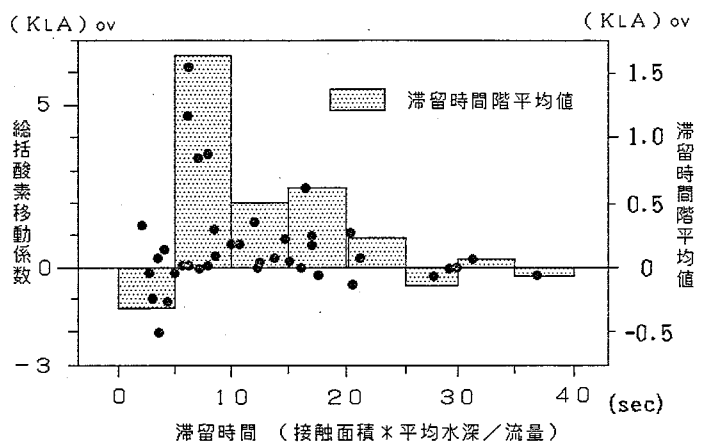


図-8 滞留時間毎での再曝気の度合いの比較

5. おわりに

本結果から、落差に大差がない区間では接触面積と滞留時間が再曝気を支配する因子であることが推測された。接触面積や滞留時間は、地形形状、川幅、水深、河床状態（礫の大きさ、占有率、分布）等の影響を受けると考えられその詳細は改めて報告したいと考えているが、溶存酸素を指標とする再曝気を媒介とすることにより地形因子で渓流水質をある程度評価できるものと思われる。

再曝気は溪流の自然浄化機能であり、汚濁負荷の分解など水質改善の観点からは再曝気を極力促進する必要があるが、生態学的な観点からの検討評価も必要であろう。さらに、こうした溪流の自然浄化機能を正しく評価し、自然の機能を損なわない、あるいは自然の機能を活かした溪流整備が必要であると考える。

報告にあたり、宮崎大学工学部教授丸山俊朗博士の有益な助言に対し感謝します。

- *参考文献 1) 中島重旗：陸水環境調査法。森北出版，1983.
- 2) 長瀬隆子訳：水質汚染の生物学的研究，恒星社厚生閣，1972.
- 3) 宗宮 功編：自然の浄化機能。技報堂出版，1990.