

川ごとの付着藻類の生産量について

概要

河原の石にはぬるぬるとした藻類が付着していて、これらは呼吸と光合成を行い、エネルギーを生産している。この生産するエネルギー量がどの程度なのか、また石によってその量には違いがあるのかを調べた。実験は長野県の黒川、赤塩沢、木曾川で 2010 年 8 月 11 日から 8 月 13 日に行った。

実験 1

目的

石に付着した藻類の、光量による総生産量の違いを調べる。

仮説

光量が多いほうが総生産量は多く、またこれらは比例関係となる。

実験日付

2010 年 8 月 11 日午前～夕方

実験方法

・黒川から瀬を 2 カ所・淵を 1 カ所、赤塩沢から瀬を 1 カ所選択し、適当な石を取ってくる。各場所の物理環境を測定する。石の大きさ及び藻類が付着した部分の面積を計測する。
・ユニパックに DO 計のコードを通す穴を切って、DO 計をユニパックにテープで固定する。DO 計のセンサーはユニパックの内部に入れる。この状態でユニパックが可能な限り密閉できるように、テープで穴をふさぐ。

・川岸において、以下の手順で石の生産量を調べる。

1. サンプルとなる石をユニパックに詰めて空気を抜いて密閉し、水中に置く。
2. 1 分ごとに光量、5 分ごとに DO、pH、水温を測定する。
3. 十分な DO の変化があったところでユニパックを取りだし、ユニパック内部の水量を測定する。

以上を、サンプルを交換して繰り返す。

備考 1：酸素の泡が発生すると、過飽和状態でそれ以上酸素が水に溶けないことを意味するので、その時点で実験を終了する。

備考 2：空気を抜くのは、空気中の酸素が袋内の水に溶けだすのを防ぐためである。

備考 3：藻類が光合成を続けることで水中の二酸化炭素が減り、律速状態に達し本来の生産量が測定できない可能性があるが、DO が一定に変化するという結果をもって律速状態には達していないと判断する。また、pH の変化を測定することで水中の二酸化炭素濃度の

目安とする。

備考4：水温を測定するのは、水温の変化で溶け込める酸素量が変化するためである。

結果と考察

各石を取った場所の物理環境は次の通りであった。

黒川の瀬1 流速(回転数)220 光量 941.4 水深 20cm 石の大きさ 25cm*15cm*11cm

黒川の瀬2 流速(回転数)40 光量 1147.0 水深 20cm 石の大きさ 15cm*11cm*8cm

黒川の淵 流速(回転数)230 光量 368.3 水深 35cm 石の大きさ 17cm*15cm*8cm

赤塩沢 流速(回転数)140 光量 2.44 水深 5cm 石の大きさ 11cm*10cm*3cm

水温、pH、DO はほぼ同じであった。なお、流速・光量はいずれも8月12日の午後に測定し、流れの激しい時、光がよく当たっている時を測定した。

また、観察では赤塩沢の石は藻類がほとんど付着しておらず、その他の石は藻類が上面や側面のほぼ全てを覆うように豊富に付着していた。

以下、実験1ではいずれのグラフも左縦軸が光量[$\mu\text{mol}/\text{m}^2$]、右縦軸がDO[mg/L]、横軸が時間[min]を表している。

1回目

実験に使用した石：黒川の瀬1

測定時間：40分

結果と観察：

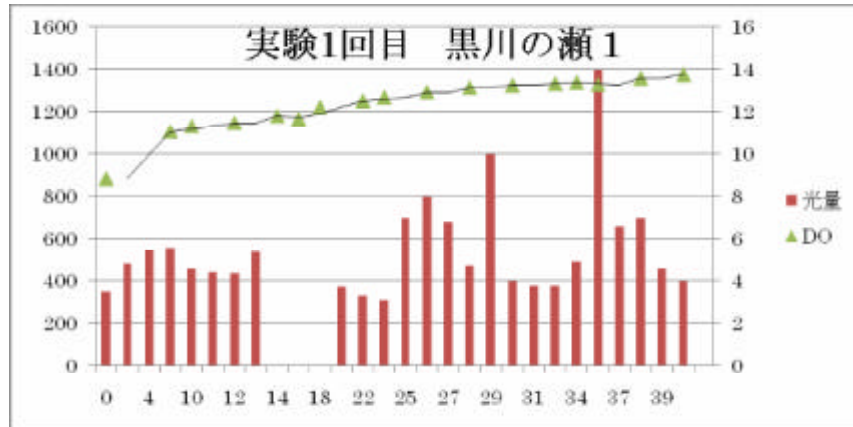
光量：激しく変動した。13分から18分は雨のため光量が測定できなかった。

DO：如実に上昇した。

pH：6.27 6.45 でわずかに上昇した。

水温：17.2 \pm 0.2 を保ち、ほとんど変化がなかった。

ユニバックに白い泡が多量についた。



考察：変化は急速であったが、DOの上昇は予想通りで光合成量が呼吸量を大きく上回ったものと考えられる。実験後半のほうが光量が多いにも関わらず DOの上昇率が前半と比べて低いのは、水中の酸素が過飽和状態になっていたためと考えられる。

あまりに変化が急速で記録がうまく取れなかったため、より変化が緩やかだと思われる藻類の少ない石を使うことにする。これ以降の実験結果を鑑みると、ここまで急速に変化が現れたのは不可解であり、そうなった理由が分からない。

2回目

実験に使用した石：赤塩沢

測定時間：40分

結果と観察：

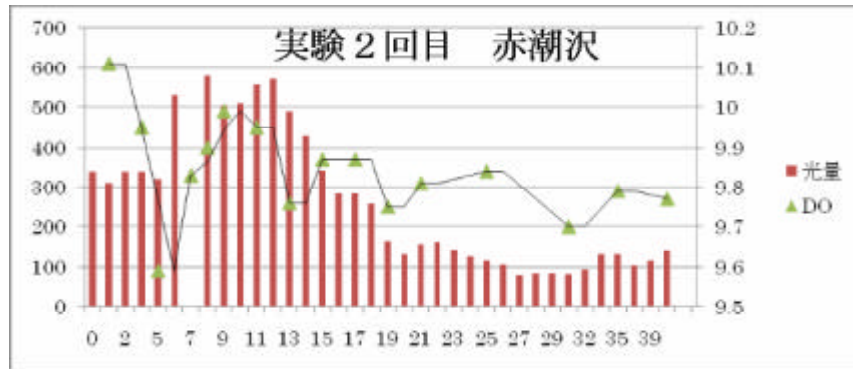
光量：前半は日が出ていて高く、後半は雲って低くなった。

DO：ほぼ変化がなかった。

pH：6.23 6.09でわずかに減少した。

水温：17.5±0.1 を保ちほとんど変化がなかった。

石が尖っているため、取り出すときにユニパックに小穴があき、厳密に正確な水量が測量できなかった。



考察：藻類のほぼついていない石のため、DO が変化しないのは予想通りの結果である。増減は測定誤差の範囲と考えられる。

ユニパックが破れるため、次回からサンプル石をバットに入れることにした。

3 回目

使用した石：黒川の瀬 2

測定時間：40 分

結果と観察：ほぼ変化がなかった。

考察：この結果は 1 回目の結果と相反するものであり、不可解である。バットを使用したために藻類が水に浸っておらず、光合成が出来なかったものと思われる。失敗した実験なのでグラフはなし。

4 回目

使用した石：黒川の瀬 1

測定時間：5 分

結果と観察：ほぼ変化がなかった。

バットを使用したために藻類が水に浸っていなかったことに気づき、実験を中止した。次回からバットは使わないことにする。

5 回目

使用した石：黒川の瀬 2

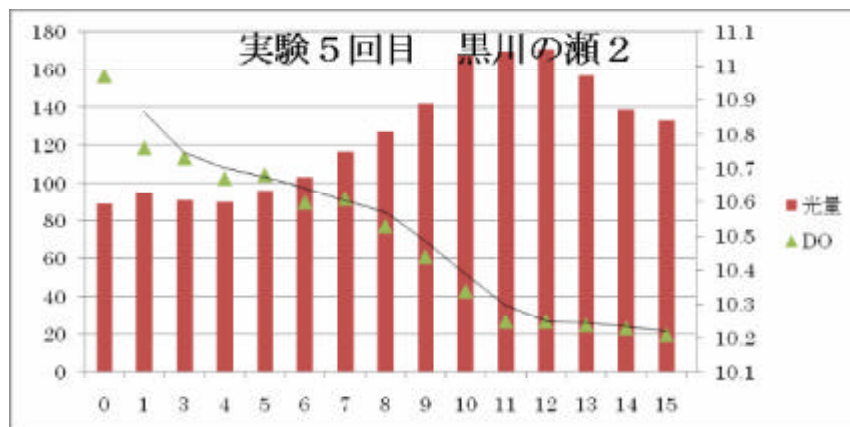
測定時間：15 分

結果と観察：

光量：曇っていて低い値となった。

DO：あまり変化はみられなかった。

pH: 6.38 6.08 でわずかに減少した。
 水温: 18.0 ± 0.1 を保ち、ほぼ変化はなかった。
 ユニパックに白い泡が多量についた。



考察: DOはわずかに減少しているが、測定誤差の範囲と考えられる。水が既に過飽和状態にあったため、光合成の結果出た酸素が水中に溶け込まず、気泡となってユニパックについたものと考えられる。水温は一定だったため可溶性酸素量は変化していない。

既に飽和状態にある水を使っているのは正確な測定が出来ないと考え、不飽和状態の水を用意することにした。また翌日は雨が予想されたため、室内で一定の光量の下、実験を行うことにした。

実験 2

目的

実験 1 と同じ。

実験日付

2010 年 8 月 12 日午前～夕方

実験方法

・藻類が多く付着している石を適当に取って帰る。児野沢で汲んだ水にこの石を入れ空気を抜いて密閉し、一晩置く。これによって酸素濃度が不飽和状態になった水をつくる。

・サンプルとなる石は実験 1 のものを使う。

・ユニパックの作り方は実験 1 と同じようにする。

・実験室において、以下の手順で各光量における各石の生産量を調べる。

1. 酸素濃度が不飽和状態の水が多量に入ったバケツを用意する。バケツ内部を蛍光灯及びスタンドライトで照らす。

- 2 . 実験場所の光量を測定する。光量は一定に保つ。
- 3 . サンプルとなる石をユニパックに入れて密閉する。ユニパックを水中に沈める。
- 4 . DO 計を手で振り続ける。1 分経過ごとに DO、p h、水温を測定し、その変化をみる。
- 5 . 一定時間経過後、石を取りだしてユニパック内部の水量を測定する。
- 6 . 各石について 3 ~ 5 を繰り返した後、光量を変えてこれを繰り返す。

備考 1 : 酸素濃度の不飽和な水を使うのは、飽和状態のものを使うと藻類の生産した酸素が溶け込まず、生産量を正確に反映した値が計測できないためである。

備考 2 : DO 計を振るのは、水の動きがないところでは DO 計が正常な値を示さないからである。

備考 3 : 1 回目の実験はバケツ内ではなく空気中で行った。(後述)

結果と考察

いずれの実験も光量は 40 で一定に保った。

1 回目

使用したサンプル : 黒川の瀬 2

測定時間 : 10 分

結果と観察 : DO、pH、水温ともにほぼ変化がなかった。

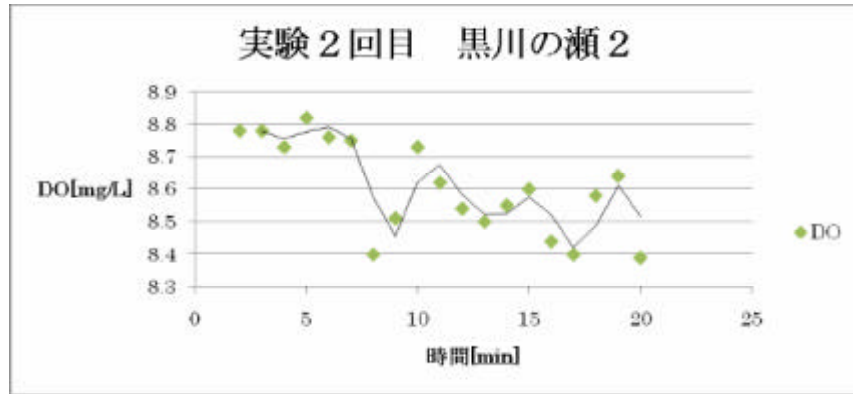
空気中で行っていたために、完全に密閉されていないユニパックの小穴から大量に空気が入っていたので実験を中止した。次回から水中で実験を行うことにした。

2 回目

使用した石 : 黒川の瀬 2

測定時間 : 20 分

結果と観察 : DO、pH、水温ともにほぼ変化がなかった。



望む結果が得られる様子がないので、実験を中止した。実験に不備がないかどうかをまず確かめることにし、次の実験では石の代わりに大量の藻類が入った液体を使用し、水量を少なくして変化が顕著にあらわれるようにした。

3 回目

使用したサンプル：濃縮した藻類液

測定時間：5 分

結果：

密閉がうまく出来ず、液体が袋の外に流れ出していたため実験を中止した。

4 回目

使用したサンプル：濃縮した藻類液

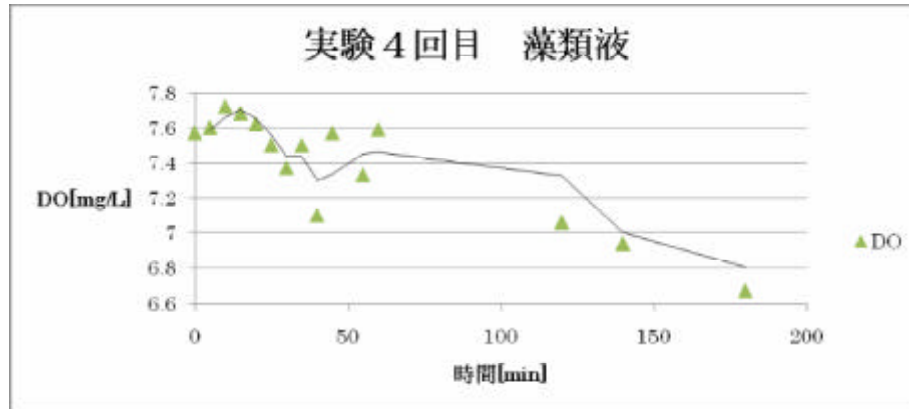
測定時間：180 分

結果：

DO：ゆっくりと減少した。

水温： 25.5 ± 0.4 で上下し、大きな変化は見られなかった。

途中、袋に泡がついた。



考察：泡がついたのは、袋の水が少なかったことが原因と思われる。手で揉んだら泡は水に溶け込んだ。DO がゆっくりと減少したのは、光合成量よりも呼吸量のほうが多かったためと考えられる。

今まで実験がうまくいかなかった原因は、実験 1 の 1 回目の結果につられて実験時間が短すぎたことだと考え、今後長めに実験時間を取ることにした。一回の実験が長時間になると多様な光量について実験を試みる事が出来ないため、実験の目的を、光量による総生産量の違いではなく、石による総生産量の違いを見ることに変更した。

実験 3

目的

異なる川の石について総生産量を調べ、違いをみる。

実験日付

2010 年 8 月 12 日夕方 ~ 2010 年 8 月 13 日朝

実験方法

- ・黒川、木曽川、赤塩沢において、なるべく似た環境からサンプルとなる石を取ってくる。黒川、赤塩沢におけるサンプルは実験 1 で取ってきたものを使用する。
- ・実験方法は実験 2 と同じであるが、測定時間を以下のように変更する。
- ・1 時間経過ごとに DO 計を振って DO、pH、水温を測定し、その変化をみる。
- ・3 時間経過後、石を取りだしてユニパック内部の水量を測定する。

計算方法

得られた DO の変化量から、次式で 1 時間ごとの純生産量を計算する。純生産量は 1 時間ごとに藻類が光合成で生産し、呼吸で消費したエネルギーの差分を表す。

純生産量 $[gC/m^2] = DO \text{ の変化量 } [mgO_2/L] * \text{ユニパックの水量 } [L] * 1/1.2 * C \text{ の分子量} / O_2 \text{ の分子量} / \text{石の表面積} [m^2] * 10^{-3} [g/mg]$

但し、水中のプランクトンによる呼吸量はどの場合にも同じ、あるいは藻類の生産量に比べて無視できるほど十分差が小さいとする。また、いずれの実験でも水温、pHはほぼ一定であったため、その変化はDOの変化には影響を与えなかったものとする。

結果と考察

1回目～5回目の結果のグラフはまとめて最後に示す。

1回目 光量40(屋内) 黒川淵 180分 DOはゆっくりと減少した。(7.28 4.21)

実験2の4回目と同じように、DOがゆっくりと減少するという結果が得られた。光合成量よりも呼吸量のほうが多かったために純生産量は負の値になったと考えられる。

2回目 光量40(屋内) 木曾川 120分 DOはゆっくりと減少した。(4.01 0.08)

概ね1回目と同じ結果が得られた。DOが減少しすぎて途中で0になったため、そこで実験を中止した。

3回目 光量0(夜間屋外) 木曾川 195分 DOはゆっくりと減少した。(5.89 3.18)

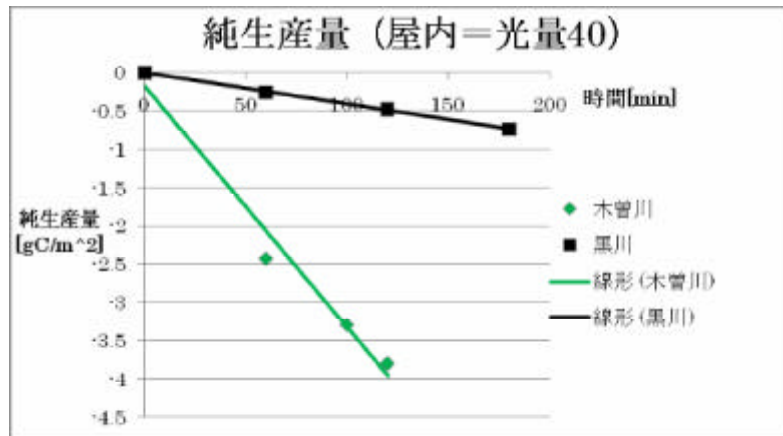
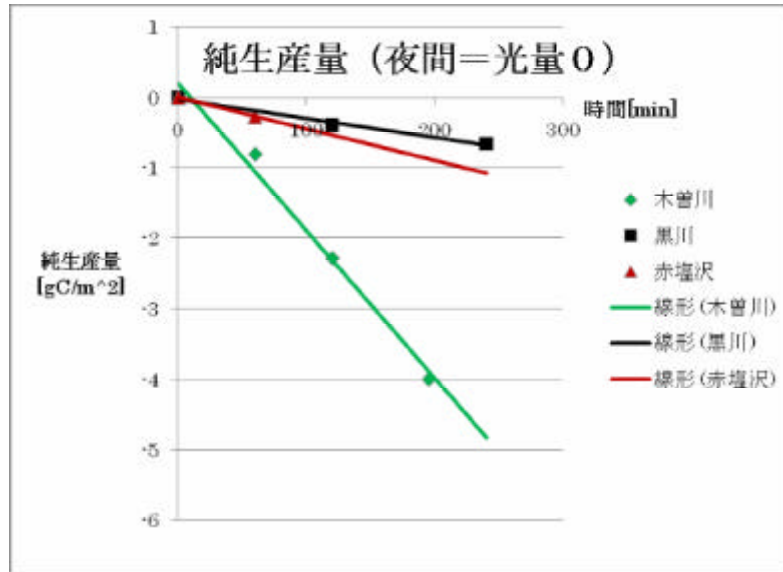
概ね期待通りの結果が得られた。

4回目 光量0(夜間屋外) 黒川淵 240分 DOはゆっくりと減少した。(4.19 1.26)

概ね期待通りの結果が得られた。

5回目 光量0(曇った屋外) 赤塩沢 60分 DOはゆっくりと減少した。(3.17 1.17)

藻類のほぼついていない赤塩沢の石でDOが減少したことは疑問である。サンプルに付着していた藻類とは別に、実験に使用した水中に藻類が遊離していて、無視できない程度の影響を与えたものと考えられる。そのため水を全て廃棄し、別の実験をすることにした。



グラフについて

まず、純生産量がいずれも負の値になっていることは、光合成量よりも呼吸量のほうが大きかったことを示す。特に木曾川では純生産量の絶対値が大きく、藻類の量が多い(つまり単位面積あたりに付着する藻類の量が多い、即ち藻の部分が多い)藻類の働きが活発であるか、活発に呼吸する種類の藻類が多く付着していたと考えられる。

二つのグラフを比較して、木曾川、黒川のそれぞれにおいて光量0の場合のほうが光量

40 の場合よりも勾配が急な結果となっている。これは、光量 40 の場合には多少なりとも光合成をしていたため、純生産量が上昇したものと考えられる。

実験 4

目的

実験 3 と同じ。

実験日付

2010 年 8 月 13 日朝

実験方法

1. 水の入ったバケツを 5 つ用意する。水は不飽和状態が望ましいが、準備時間がなかったために飽和状態に近いものを使用した。初期状態での水の酸素濃度、pH、水温を測定する。
2. ユニパックに DO 計を入れず、石と水だけを入れて空気を抜き密閉し、バケツに沈める。サンプルとなる石は実験 1 のものを使用する。
3. よく光の当たる屋外で 2 時間放置する。この間光量の大体の変化を見ておく。
4. ユニパックを開けて内部の水の酸素濃度、pH、水温を測定する。水量を測定する。

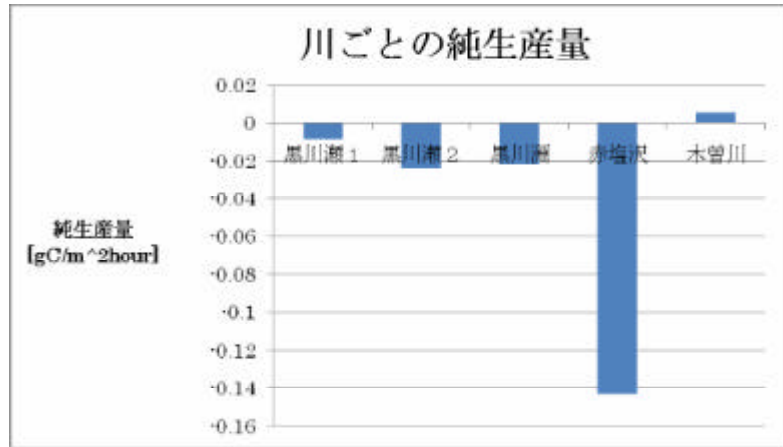
計算方法

得られた DO の変化量から、次式で 1 時間あたりの純生産量を計算する。純生産量は 1 時間あたりに藻類が光合成で生産し、呼吸で消費したエネルギーの差分を表す。

純生産量 $[gC/m^2hour]$ = DO の変化量 $[mgO_2/L]$ * 袋の水量 $[L]$ * $1/1.2 * C$ の分子量 / O_2 の分子量 / 石の表面積 $[m^2] * 10^{-3} [g/mg]/時間[hour]$

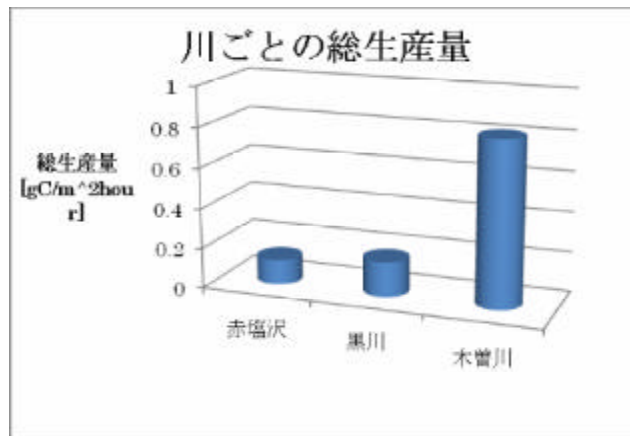
結果

黒川瀬 1、黒川瀬 2、黒川緑、赤塩沢の石を入れた水の酸素濃度は減少した。木曾川の石を入れた水の酸素濃度は上昇した。実験前後で水温は 5 度近く上昇し、飽和する酸素量に変化があった。



この結果と、実験3の光量が0の場合の結果を合わせて、次式で1時間あたりの総生産量を算出した。総生産量は1時間あたりに光合成によって生産したエネルギーの総量を表す。
 総生産量[gC/m²hour]=実験4の純生産量 - 実験3・光量0の純生産量/時間

但し実験3において黒川の瀬1及び瀬2はサンプルとして用いなかったため、これらは算出していない。



考察

いずれも総生産量は正の値で、赤潮沢と黒川の石の生産量はほぼ同じで、木曽川の石が一際大きい生産量となった。

第一に、結果が正の値になったことは藻類が光合成によってエネルギーを生産していることを示しており、自然な結果である。

また値について、文献によると藻類による1日当たりの生産量は目安として $1\sim 10[\text{gC}/\text{m}^2\text{day}]$ であり、今回の結果はその範囲内におさまるものとなった。値が大きくなる理由としては、藻類の量が多いこと(つまり単位面積あたりに付着する藻類の量が多い、即ち藻の部分が多い)、藻類の働きが活発であること、活発に光合成する種類の藻類が多く付着していたことが考えられる。今回、総生産量の違いが以上のどれに起因するものかは、調べていない。

続いて川による生産量の違いについて考察する。各サンプルを採取した場所の物理環境を再掲する。

赤塩沢 流速(回転数)140 光量 2.44 水深 5cm 石の大きさ 11cm*10cm*3cm

黒川の淵 流速(回転数)230 光量 368.3 水深 35cm 石の大きさ 17cm*15cm*8cm

木曽川 データなし 観察では光量は黒川並の早瀬でその他の物理環境は赤潮沢と同じ。

当初はなるべく似た環境、具体的には全ての川の瀬から石を取る予定であったのだが、黒川では淵から取れた石をサンプルにしたために、対照的ではない結果となった。

まず物理環境の違いに着目すると、環境の全く異なる赤潮沢、黒川がほぼ同じ総生産量を示したにも関わらず、赤潮沢と光量だけ異なる木曽川が大きな総生産量を示したことは不可解であり、今回の実験で物理環境と総生産量に簡単な因果関係は見いだせない。但し、赤塩沢と木曽川の石を比較したとき、両者の物理環境には光量以外の違いはほとんどなく、この違いが総生産量に違いをもたらしたと考えることが出来る。つまり、光がよく当たる場所に置かれている石のほうが多く光合成し、暗い場所にある石は光合成をする潜在能力が低くなってしまふものと考えられる。また、黒川と木曽川の石を比較したとき、両者の最も顕著な違いは水深であり、この違いが総生産量に違いをもたらしたと考えることが出来る。そして黒川の淵では、光量が多いほど総生産量が大きく、水深が大きいほど総生産量が低くなるという二つの要素が相殺することで赤塩沢と同程度の総生産量に落ち着いたと考えられる。

他に総生産量が異なった理由としては、まず今回測定していない環境の違いが藻類の量、厚さや種類を決定する要因となっている可能性が考えられる。例えば川によって多く存在する水生昆虫が異なり、これによって藻類の量、厚さや種類に影響を与えている可能性がある。

次に、個体差が顕著にあらわれた可能性がある。サンプル数が少ないために、その川の代表として適切でないサンプルを取ってきた可能性は否定できない。

最後に、測定誤差が考えられる。特に今回、流れのない中では正常な値を示さない DO 計の扱いが困難で、手動で振ることがどの程度の誤差をもたらしたか不明である。

雑感

当初は各サンプルのクロロフィル a 量も調べ、藻類の現存量と生産量も調べる予定であったがそこまで手が回らなかった。

付着藻類の種類によって総生産量に違いがあるのは明らかなので、各サンプルを検鏡し微生物の分布を調べることで、どの微生物が多く光合成するかを調べることが出来ると思われる。

当初の実験計画に不備や未考慮な点が多く、時間を無駄に消費してしまう結果となった。次回は、仮説を検証するにあたり、計画の妥当性、実現性を念頭に置き、適切な実験計画をよく練りたいと思う。