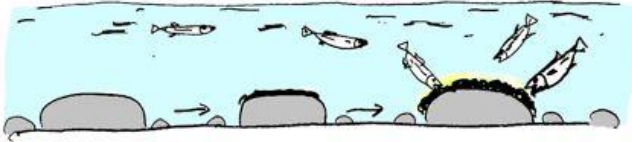




水域の一次生産力が高い

檻に入れての活性測定はナンセンス
本当は、どの位か？

2007.10.29-30.千曲川現地視察会、資料
中本信忠(当時、信州大学)



野外での状態のまま、活性測定をする必要がある。

明暗瓶法、隔離測定は、野外で
の状態を再現していない。

出てくる数値を鵜呑み
するのでなく、その数
値はどのようにして出
したか。何を測定して
いるのかを、根本から
考え直す必要がある。



生産力 No.1 :
信州大学定年退職直前
の千曲川研究の現地見
学会での資料である。
水域の一次生産力（光
合成による有機物生産
の速度）は、これまでの
教科書に書かれている
より大きいと、これま
での研究成果をまとめ
た。学術論文として発
表していなかった。で
も、何とか、皆に、私の
考えを知らせたくメモ
をつくり配った。
これまでの常識と違う
事を主張するのは大変
だった。
私は 2008 年 3 月に
信州大学を定年退職
し、学会も止めた。

信州大学繊維学部応用生物科学科で、講義をし、研究室に入ってきた学生の研究指導で忙しかった。研究では緩速ろ過池での藻の役割研究をして、緩速ろ過処理は誤解されていると気づき、生物処理の素晴らしさを伝えようとしてきた。研究者として、このまとめは学会誌に投稿すべきだったが、学生指導に忙しく、できなかった。

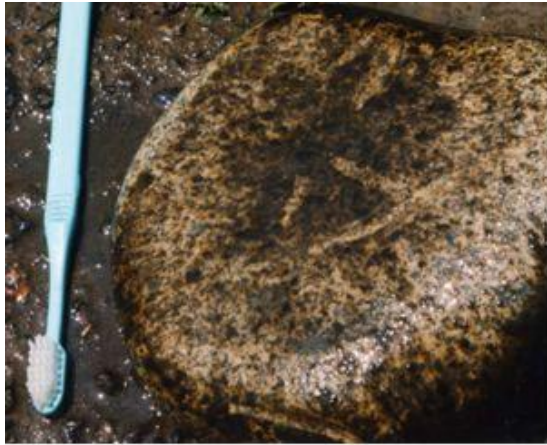


図1. アユの食痕、夏期は良く見られる。



図2. つけば漁：人工の瀬、新しい礫面に産卵にくるウグイを1網打尽（上田市HPより）



図3. まや漁：小石を流し、ウグイが瀬だと勘違いして集まるのを1網打尽。上田市付近では、海に流下する落ち鮎を梁で捕まえる漁もしている。

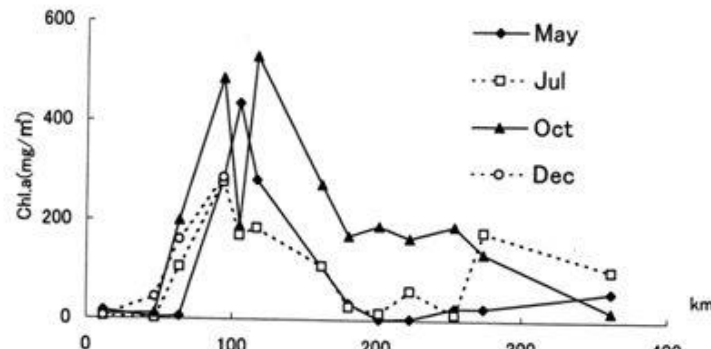


図4. 信濃川水系（千曲川・信濃川）の源流から河口までの河床礫面での付着藻類現存量の季節変化



図5. 信濃川水系の上流から河口までの特徴のまとめ。上田市付近は付着藻類の発達に一番適した河床と高い栄養塩濃度の環境である。

川上村 — 佐久 — 小諸 — 上田 — 長野 — 西大滝ダム — 小千谷 — 新潟平野
 河床 伏流・岩 礫 小石 淵 礫（水量小） 砂
 栄養塩 少ない 栄養豊富 栄養豊富

信濃川水系（千曲川・信濃川）で、上田市付近は、付着藻類現存量は多い、付着藻類の繁殖速度も多い。それは、礫が大きい。増水頻度が小さい。栄養塩濃度が高い。

生産力 No.2：
 千曲川（日本で一番長い河川、信濃川の長野県内の名前が千曲川）の上田市付近の河原には大きな礫が多い。その礫面に付着藻類が繁殖する。注意してみると、鮎の食痕が目立つ。流れが急で礫が転がる場所の礫面にウグイが産卵のために集まる。そこで、人工的に瀬をつくり、小石が転がるようにし、ウグイの人工的な産卵床をつくる。集まってきたウグイを網で捕まえる漁を、上田市付近の河原では見ることができるのは5月から8月までだ。

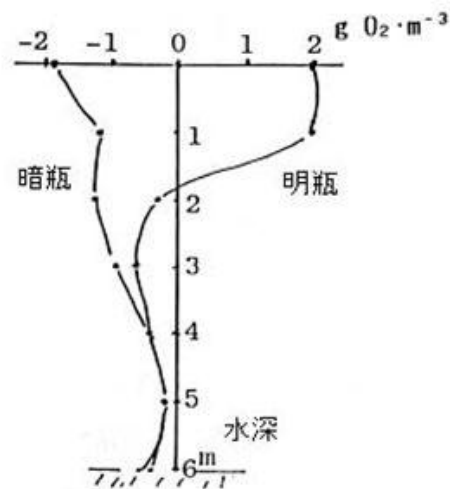


図3 諏訪湖湖心での24時間現場法による明瓶と暗瓶の溶存酸素濃度変化。

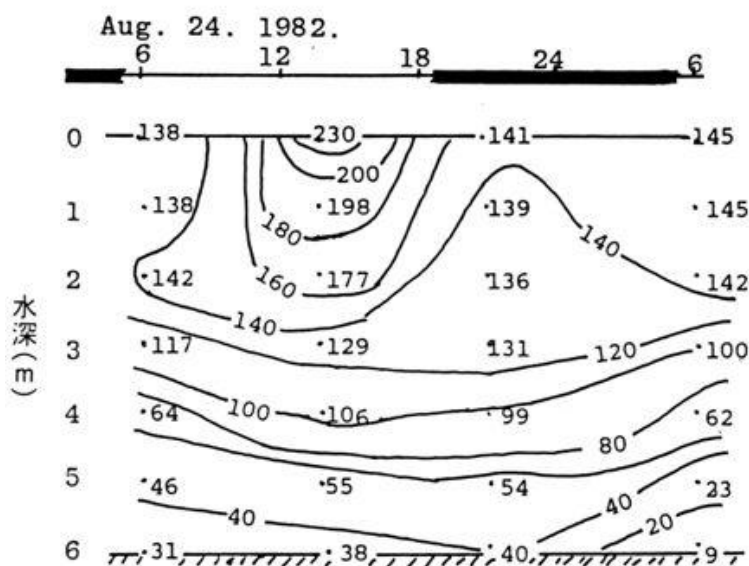


図2 諏訪湖湖心水柱の溶存酸素飽和度(%)の日変化。

表2 諏訪湖湖心での溶存酸素濃度 ($\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) 分布の日変化および単位面積当りの溶存酸素量 ($\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$) の日変化

	月 日 お よ び 時 刻			
水 深	8. 24.			8. 25.
(m)	06 : 30	14 : 40	20 : 30	06 : 15
0	10. 42	15. 21	10. 54	10. 82
1	10. 43	14. 49	10. 39	10. 76
2	10. 66	13. 28	10. 21	10. 53
3	8. 91	9. 92	9. 86	7. 64
4	5. 13	8. 27	7. 77	5. 00
5	3. 79	4. 44	4. 39	1. 89
6	2. 52	3. 06	3. 28	0. 75
現存量	45. 41	59. 55	49. 55	41. 62

諏訪湖の溶存酸素の日変化から計算すると、明暗瓶法より、桁違いに高い生産力。

表4 夏の諏訪湖湖心における1日当り・面積当りの生物群集の活性 ($\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

方 法	呼 吸	純生産	総生産
現 場 法	5. 2	0. 8	6. 0
酸素日変化より計算	32. 2 (17. 5)	0. 0	32. 2
全炭酸日変化より計算	46. 0 (19. 7)	0. 0	46. 0

() 内の値は夜間の減少より計算した呼吸速度 ($\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) である。

皆が昔から使っている明暗瓶法。この方法での結果を鵜呑みするのは、おかしいと気づいた。

生産力 No.3 :

水域の一次生産力（光合成）を測定するには、昔から、明暗瓶法といい、水を透明な明瓶と遮光した暗瓶にいれ、湖に一定時間つるして、溶存酸素濃度の変化を測定する。明瓶と暗瓶での溶存酸素濃度の差から、光合成速度を計算する。一方、現場の水中の溶存酸素濃度の日変化から、光合成量を計算すると、桁違いに大きい。どうも、明暗瓶法の結果は、おかしいと思う。昔から使われている方法なのに、どうして疑問を持たないのかな。結果がでるので、その数値を信用してしまう。でも、本当の値はどうなのか。

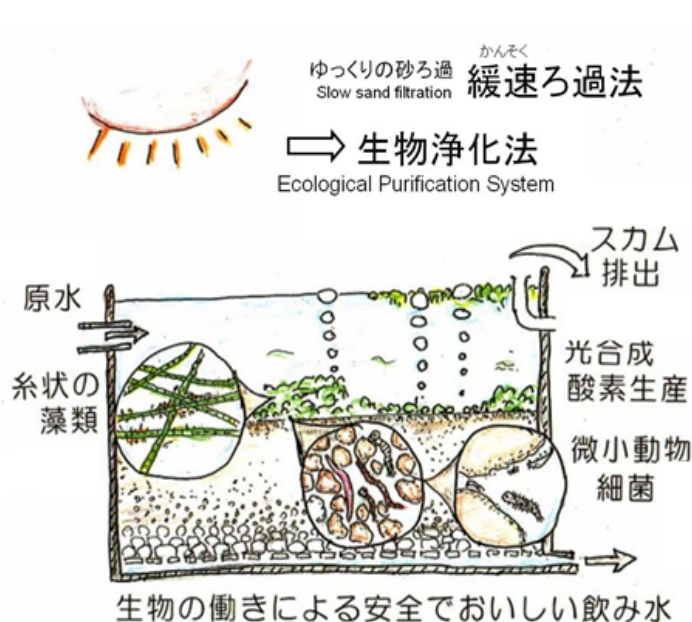


図4-1、緩速ろ過池の模式図

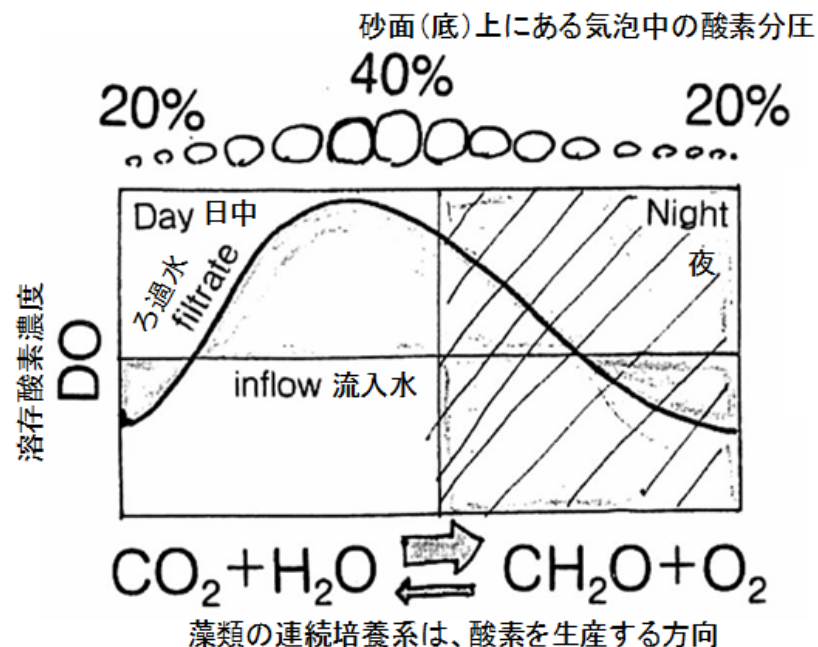


図4-2、ろ過池の流入水とろ過水中の溶存酸素濃度の日変化の模式図。ろ過水のDOは200%位になることがある。

緩速ろ過池では、下方への流れがある。砂層表面で繁殖した藻は、光合成をし、酸素が増えて水は、大気に触れない。流入と流出の溶存酸素濃度の違いとろ過速度から本当の、酸素生産速度、酸素消費速度を測定できる。但し、藻類だけでなく、砂層内の微生物や動物などを含む生物群集の活性である。

日没後も酸素濃度が高いのは、気泡から水に溶けるから。5月に生産速度が高いのは、水温が低く、動物活性が小さいから。水温が高い夏は、動物群集の活性が高いため。

瓶に入れないで、生物活性の結果が環境に表れる。
緩速ろ過池では、その変化から活性を簡単に測定できた。
日変化法と呼ぶことにした。

生産力 No.4:

私は、上田市の緩速ろ過池での藻の繁殖がもの凄かった。そこで、その光合成量を、ろ過池への流入水とろ過水の溶存酸素濃度の違いとろ過速度から光合成速度を測定した。ろ過池は上から下への流れがあり、砂面で繁殖する藻による光合成の結果は、ろ過水にしか表れなかった。溶存酸素濃度の変化とろ過速度から、光合成と呼吸の量を計算し、日変化から、1日当たりの、光合成量、呼吸量を測定した。この値は、藻だけでなく、砂層上部で活躍する細菌や微小動物の呼吸活性との合計の値であった。日変化法とした。

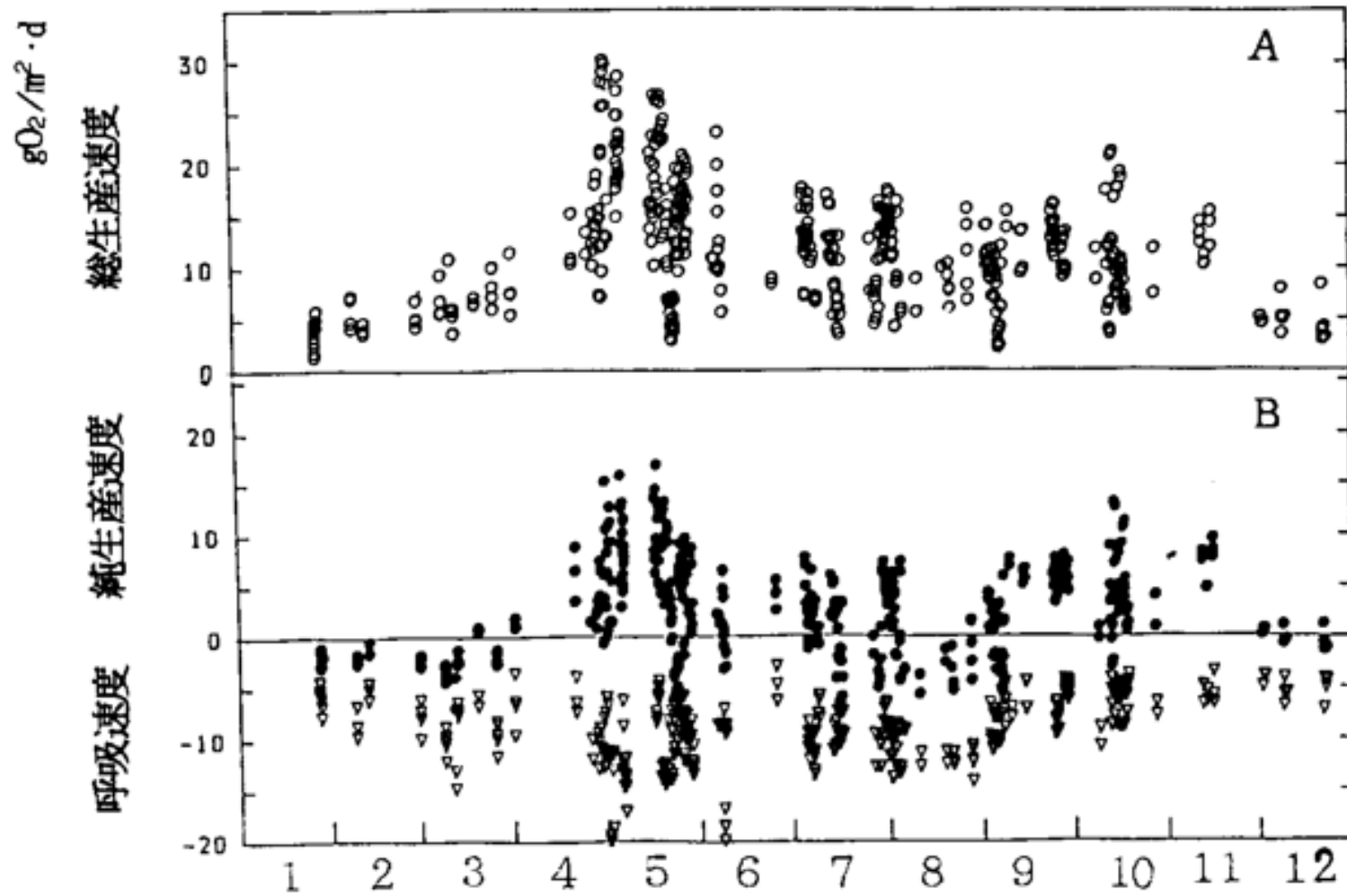


図2. 緩速ろ過池における藻類被膜の1日当り単位面積当り生産力の季節変化
(1986年8月～1988年10月、使用日数10～20日)

図4-3. 緩速ろ過池で溶存酸素濃度の日変化から測定した総生産量、純生産量、呼吸量の季節変化。

生産力 No.5 :

日変化法での結果、5月から6月の光合成活性は一番たかく、夏は低くなり、秋にまた少し高くなった。酸素消費量（呼吸量）は5月から8月は多くなった。5月から6月は、水温が低く、日射が多いから光合成が高いが、夏は水温が上がり、藻を食べる捕食動物の影響で小さくなると考えられた。また、砂面には藻が繁殖し、藻には小さな気泡が生じていた。その気泡の酸素分圧をガス分析（酸素吸収剤のピロガロール液を使った）すると、気泡中の酸素分圧は午後から日没頃は高く、夜間に小さくなっていた。この測定法は、生物を瓶という檻に入れないで、環境変化で測定していた。



図5-1.浮いてくる藻を刺し網で集める



図5-2.玉ネギ収穫ネットで取り上げ



図5-3.780m2のろ過池で1日の捕集量

図5-1.糸状珪藻メロシラ

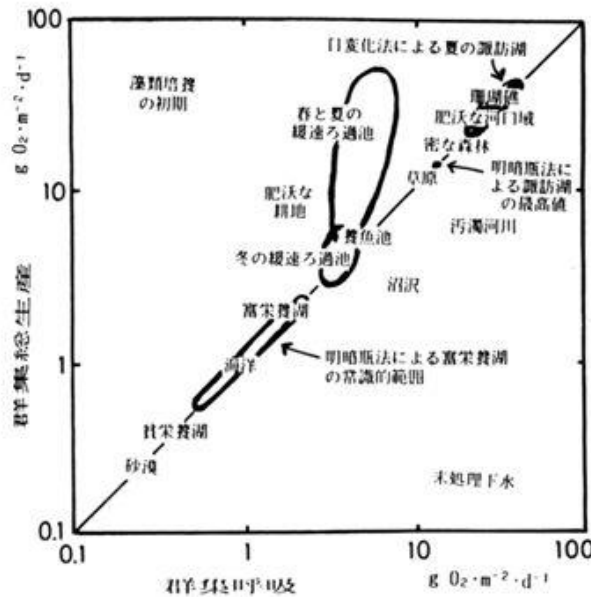


図6 各種生態系での総生産量と呼吸量の関係。ODUM (1971) の図に日変化法で求めた緩速ろ過池での値と諏訪湖での値を合わせて図示した。

収穫量は、
実際の、
本当の
純生産量

図5-5.各種生物群集の総生産量と呼吸

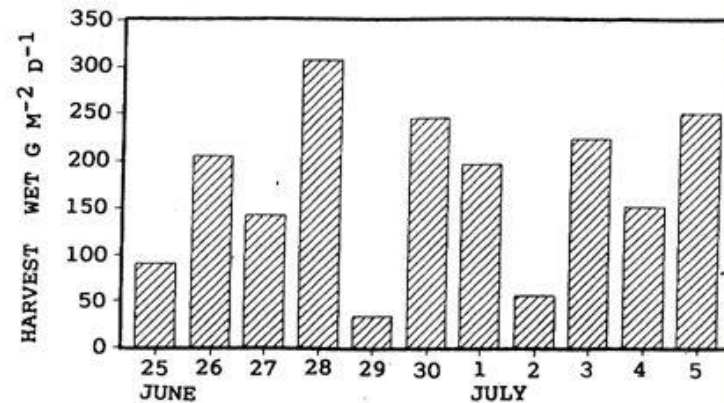


Fig. 3. Daily harvest of the floating clusters of algal mat in a slow sand filter pond.



図5-4.夏の11日間の毎日の収穫量の変化。天候の違いで、光合成量が異なり収穫量は異なる。

図5-6.網戸で収穫した珪藻を天日乾燥。

生産力 No.6 :
実際にそんなに、大きな生産力があるかを、水面に浮いてくる藻を全部収穫して、その量を測定してみた。この値は光合成量から、藻の呼吸による損失を除いた、実際の純の生産量である。この値を、これまで報告されている各地の生産量と比較すると、最大の値と同等だった。でも、水域での藻の研究をしている報告では、明暗瓶法での測定値で、桁違いに小さかった。また、収穫した藻を乾燥させれば、餌として流通できると思って、金網で乾燥させた。

光合成の結果、生物が増える。その増える量を、取り上げて重量測定した。

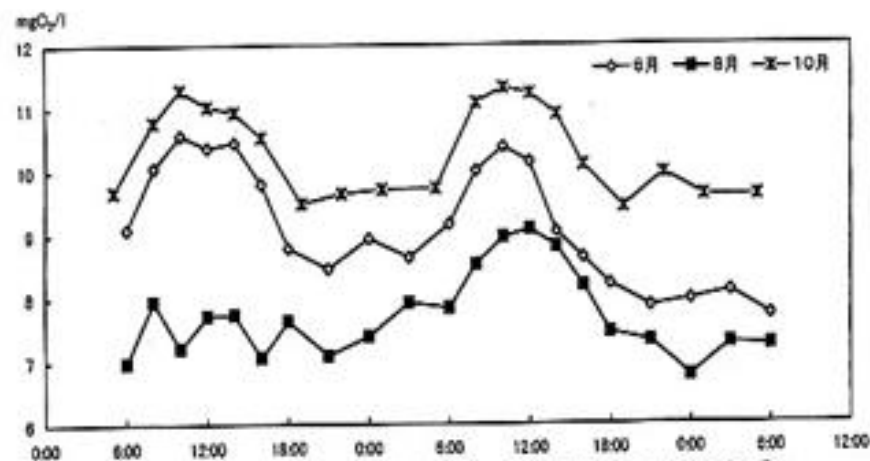


図1 千曲川風橋右岸での河川表流水中の溶存酸素濃度の48時間変化
1997年6月18日~20日、8月5日~7日、10月1日~3日

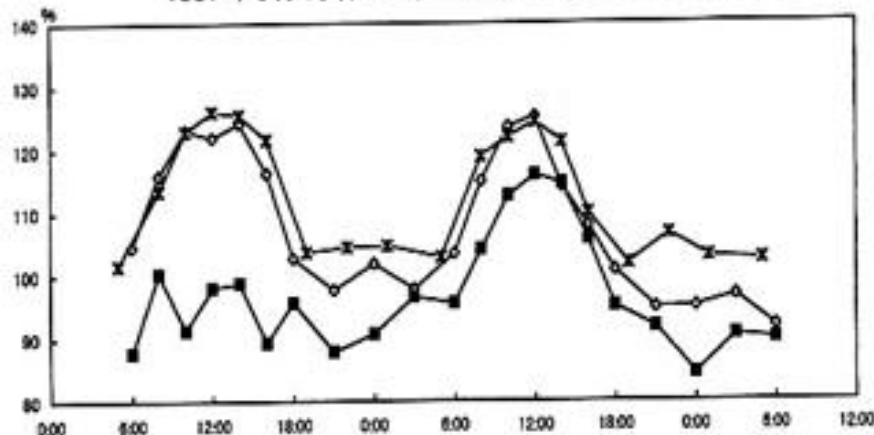


図2 河川表流水中の溶存酸素飽和度の48時間変化

図7-1. 風右岸での河川表流水中のDOの48時間変化
(上: 濃度変化6月8月10月、下: 飽和度)

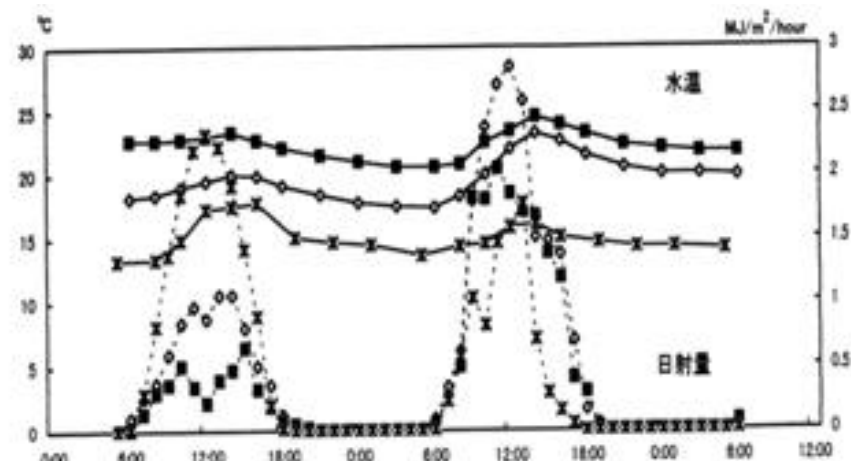


図3 調査期間中の河川水温の変化および日射量(約5km離れた繊維学部屋上での測定)の変化

図7-2. 風右岸での河川表流水中のDOの48時間変化
(水温と日射量)



図7-3. 水深が浅く緩い流れにある礫面の気泡

生産力 No.7:
千曲川での生産力を日変化法で測定できなかつた、千曲川の溶存酸素の日変化を測定した。日中は、溶存酸素濃度が高くなるが、日没すると、急に少なくなり、その値は、一定になった。千曲川は溪流河川と同じで、大気とのガス交換が盛んであった。

野外の河川では、流れがあり、水面と大気とのガス交換が盛んであった。
日変化法では、ガス交換量を測定できず、正確な活性測定はできなかった。



図8-1.水路にポンプで流速を変えての実験



図8-2.雨樋に付着板として透明塩ビ板をクリップで固定



図8-3.洗瓶の水で洗い流されるのはLoose.ブラシで削り取るのはAdnate

表. Loose, Adnate, Totalの倍加日数

		DT(day)
Loose	Slow	0.93
	Middle	1.24
	Fast	1.63
Andate	Slow	1.39
	Middle	1.54
	Fast	2.29
Total	Slow	0.76
	Middle	1.34
	Fast	1.82

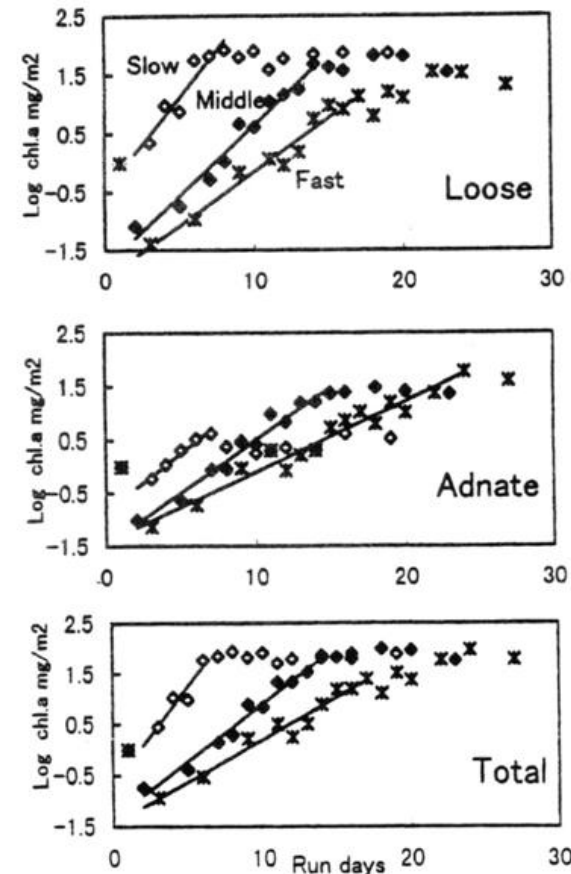


図8-4.流速の違いによる付着の発達の相違

やはり、現存量の変化から生産量を測定することを考えた。

生産力 No.8 :
そこで、上田市にある淡水研上田支所内の水路を使わせてもらい、付着藻類の繁殖速度を、流速を人工的に変えて測定した。その付着速度は、流速が遅い方が早く、流速が早いと遅かった。一定期間になると、その付着量はほぼ一定になった。どうも、礫面に堅固に付着しやすい藻と付着しにくい藻があるみたいで、緩く洗い流して流される藻と、流されない藻を区別して測定もしてみた。

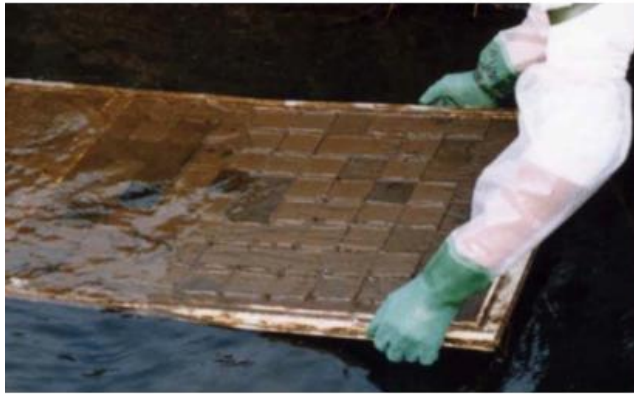


図9-1.人工水路に附着板を網戸に設置



図9-2. 水深を変えての附着の発達実験

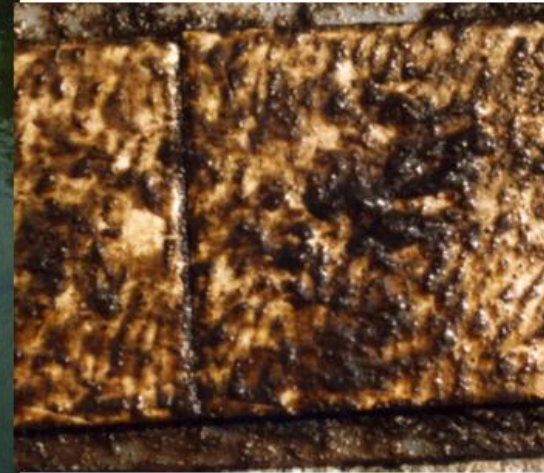


図9-3.深い附着板には魚による被食痕

生産力 No.9:
また、水路には付着藻類を捕食する魚がいる。そこで、水面近くに設置したタイルと、水深をある程度深くにして魚に捕食されやすくした場合との比較をした。その結果、藻の繁殖速度は、ほぼ同じであるが、魚に捕食されやすい環境だと、付着量は少なかった。また、夏と冬の違いも測定した。日射量と、捕食圧の違いがあった。

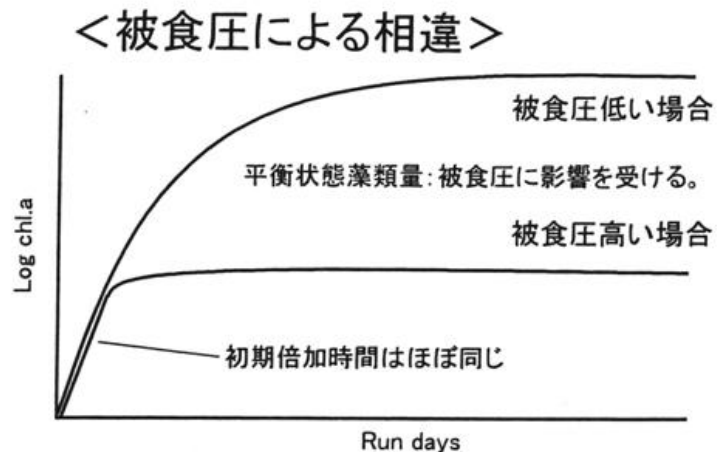


図 3.2.2.8 水産研水路での水深の違い調査から付着藻類の発達と被食圧の相違に関する模式図

図9-4. 水深の違い：被食圧の違い？



図 3.2.2.5 付着藻類の発達に関しての季節的相違の概念図

図9-5.付着藻類の発達に関しての季節的相違

野外では捕食動物の影響は大きい。



図10-1.河原の礫をブラシで清浄にする。ラッカーで印をする



図10-2.礫を河原に設置

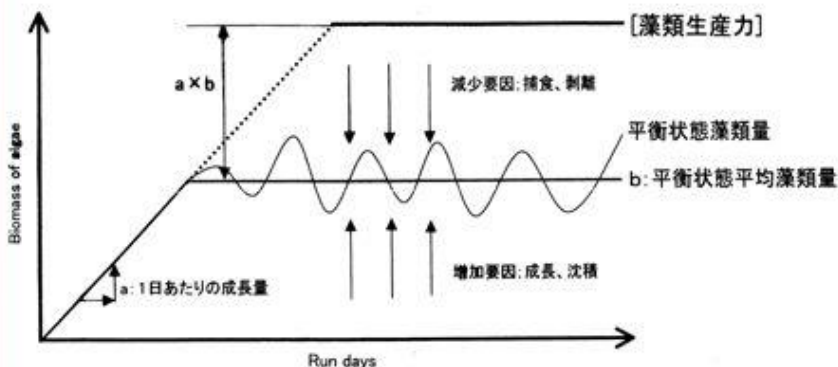


図10-4.初期発達速度と平衡状態の現存量から生産量を推定法の説明図

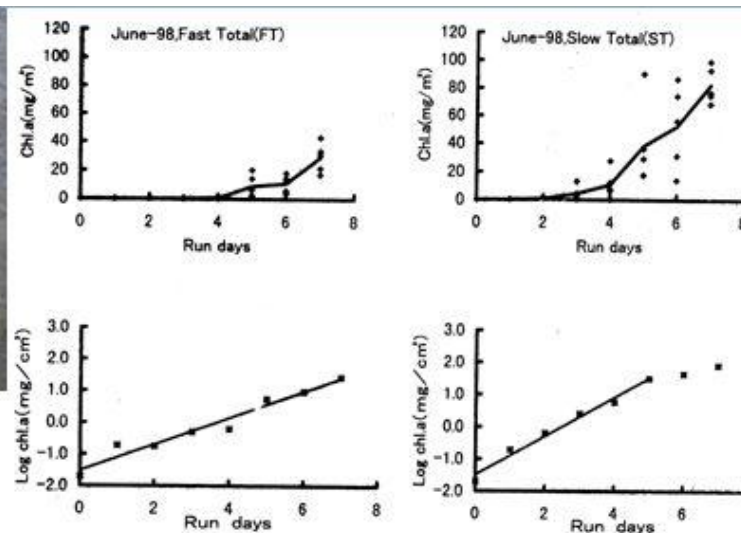


図10-3.瀬(Fast:流速120cm/s、深さ10cm)と淵(Slow:流速30cm/s、深さ35cm)での礫面での初期発達量(Chl.a)の変化。

表2. 鼠における瀬と淵での付着藻類の1日当たりの純生産量

	瀬(Fast:120cm/s、水深 10cm)			
	Chl.a mg	C g	乾物 g	O ₂ g
97年10月	63.6	4.32	10.8	11.5
98年6月	488.1	33.2	83.0	88.3
98年7月	302.5	20.6	51.4	54.8

	淵 (Slow:35cm/s、水深 35cm)			
	Chl.a mg	C g	乾物 g	O ₂ g
97年10月	71.4	4.86	12.1	12.9
98年6月	554.1	37.7	94.2	100.3
98年7月	525.8	35.8	89.4	95.2

この推定値は、高すぎる。本当だろうか。

生産力No.10:
 それでは、実際の河床での付着藻類の発達を調べてみた。
 河原から礫を集め、きれいに洗って、河原に戻した。その結果、水路と同じ様な結果がでた。でも、この実験は、釣り人などで、荒らされてしまい、中々、良い結果を得るのに苦

野外では釣り人が、実験妨害をするので、長期間の実験をするのは大変。

表1. 現場の礫面での初期発達速度(倍加日数:DT)と平衡状態の現存量(ST:Chl.a)から計算した総生産量(Pg)

	DT (day)	ST (mg/m²)	Pg (mg/m²/day)
Jun-98 Fast	0.72	302.62	420.64
Jul-98 Fast	0.73	413.80	566.91
	DT (day)	ST (mg/m²)	Pg (mg/m²/day)
Slow	0.50	251.61	503.21
Slow	0.30	226.74	755.04



図10-5. 河原の礫面藻類を採取

千曲川河原：河床礫面

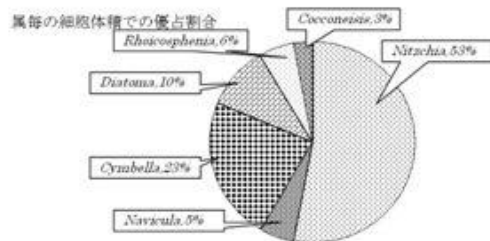
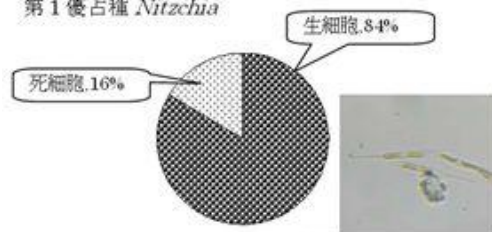


図10-6. 礫面での藻類(体積割合)

第1優占種 *Nitzschia*



第2優占種 *Cymbella*

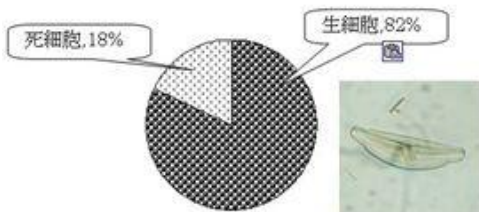


図10-7. 優占種の生細胞と死細胞の割合



図11-1. 河原の湧水で糸状珪藻メロシラ繁殖



図11-2. 糸状珪藻は糸状緑藻に遷移する



図11-3. 冬期でも、濁りが無い湧水の溜まりでは、メロシラは盛んに繁殖している。



図12-1. 河床の脇の浅瀬を注意深く観察すると、礫の上に糸状珪藻メロシラが繁茂。

流れが急なところには流下した死骸が、湧水は珪藻から緑藻へ遷移。冬は、動物活動しにくいから珪藻が優占。

生産力 No.11：
千曲川の河原を注意深く観察すると、場所により、付着藻類の種類が異なっていた。伏流水がある濁りが無い場所は、流れが緩く、糸状藻類が繁殖していた。最初は糸状珪藻が繁殖するが、その内に糸状珪藻は捕食動物に食べられ、糸状緑藻になった。厳寒期の河原で、湧水がある場所では、糸状珪藻が凄かった。でも本流の、流れがあるところでは、常に付着珪藻が優占していた。流れが緩く、濁り物が無いなら、糸状珪藻が繁殖しやすいことが分かった。

野外の河床でも、珪藻は捕食者の良質の餌で、食べられる。また、流れが急な礫河川は礫が転がり、遷移現象が進みにくい。捕食動物の活性は、水温に関係していた。



図12-3・4. 濁り物質が少ない水をつくる工夫。タマネギ収穫ネット、暗幕で遮光、汚泥ポンプで揚水、水圧調整槽、上向き粗ろ過。

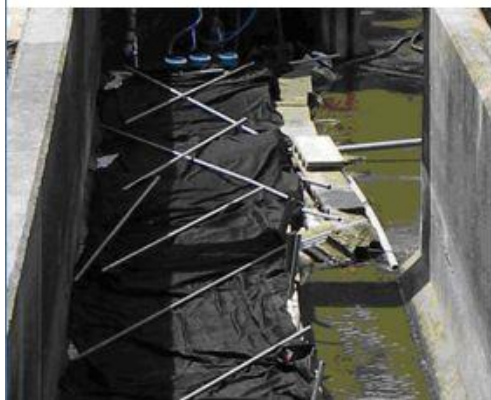


図12-5.プラスチック水槽での培養



図12-7.コンパネ1枚(91cmx182cm)の培養槽に河原のメロシラ採取し、種付け(2007.10.17.)

図12-8.2007年夏は、培養開始5日目で連続培養状態になった。流出する藻の収穫は洗濯ネットを用い、そのまま、風通しの良い場所で、風乾する。



図12-6.上向き培養系で、繁殖する藻も自動収穫



生産力 No.12：
繁殖した珪藻は、魚の餌として最適だった。糸状珪藻メロシラなら、収穫しやすい。それを乾燥させれば、流通させることができる。それなら、糸状珪藻メロシラの大量培養をしようと考えた。漁業組合の養魚池を借りて、実験をした。導水路の水の中から、濁りを除き、コンテナで培養してみたら、上手くいった。それなら、もっと大量にとベニア板で浅い水槽をつくり実験をした。自動的に捕集できる仕組みも考えた。**自動的に捕集したら、夜間に細胞分裂していた。**

一見良くてきたが、野外で長く実験すると、直ぐに捕食動物が、飛んできたりして、食べられてしまうことがわかった。ビニールハウスみたいな場所で行うのが良さそうだった。

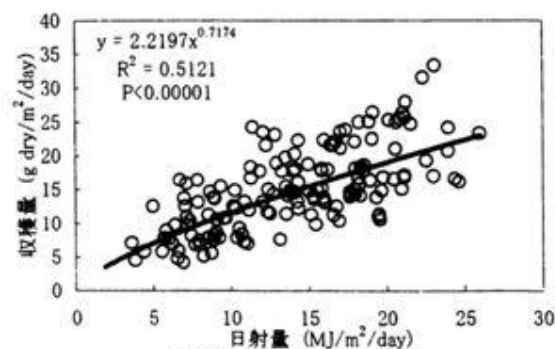


図3 日射量と収穫量の関係

図12-9.下向式培養系で収穫量と日射量の関係。

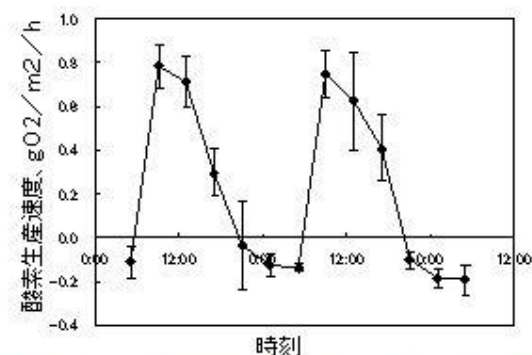


図13-1.培養系での酸素純生産速度（夏）

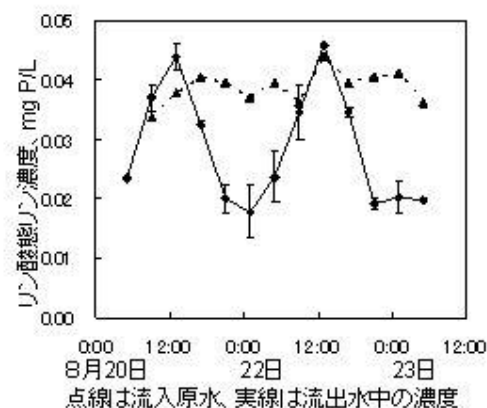


図13-2.流入水（河川水）中のリンと流出水中のリン酸態リン濃度の変化。

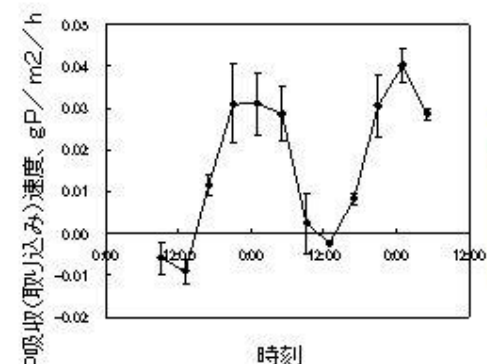


図13-3.リン酸態リンの取込速度の変化

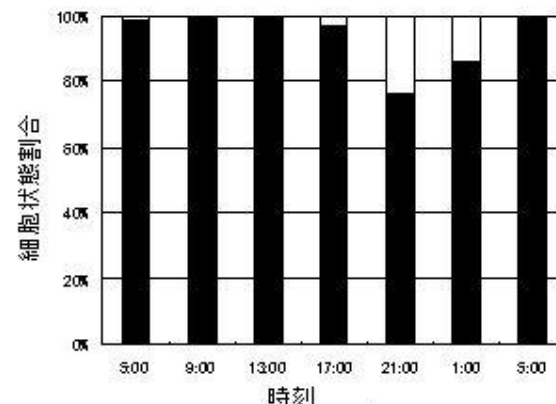


図13-4.細胞状態の日変化。白：分裂中、黒は通常細胞。細胞分裂は、夜間に行われていた。



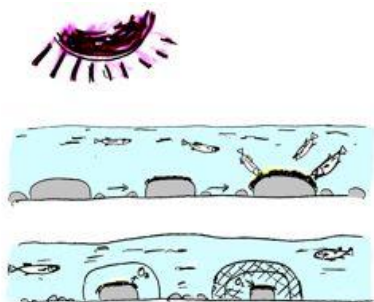
河川水中の流入栄養塩のリンはほとんど日変化しないが、培養系から流出する水中のリン濃度は、大きく変化し、夜間はリン吸収が大きい。日中、栄養塩吸収はない。

生産力No.13：コンテナでの培養槽での光合成と呼吸を測定した。日中は、光合成が盛んであるが、夜間はどうなっているかを考えた。夜間には細胞分裂をし、栄養塩の吸収が多かった。日中は光合成により炭水化物を生産し、夜間に細胞分裂をし、その際に、栄養塩を大量に吸収していた。

基礎生産（太陽エネルギーの固定＝有機物生産）→酸素生産



栄養塩吸収とは同時進行でない。→有機物の再合成（栄養塩の吸収）



動物は分解者でなく、コレクター、運搬者

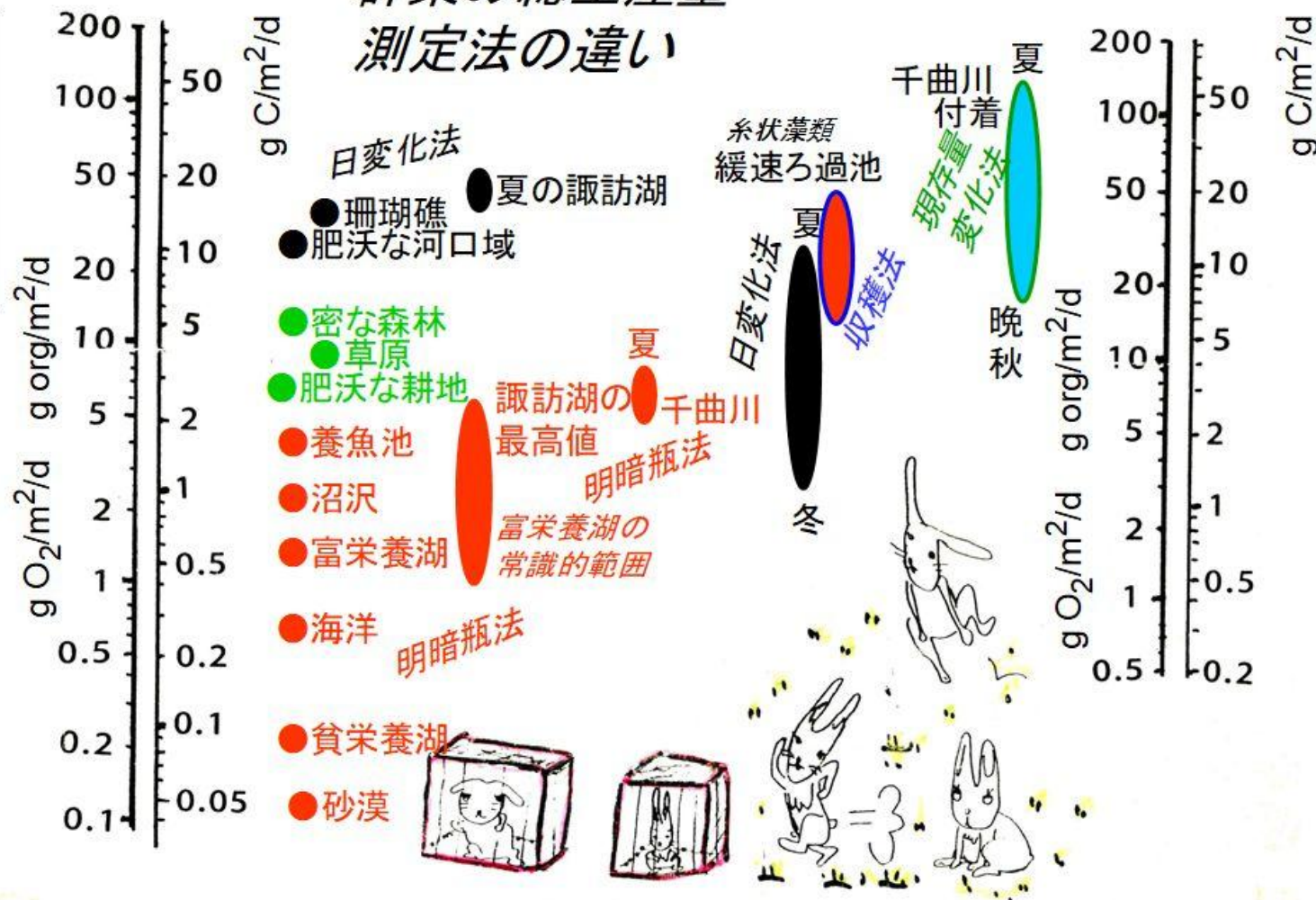
分解は、糞塊の中、
酸素不足で発酵

群集の総生産量 測定法の違い

野外での生物群集を檻に入れたの活性は本来の活性ではない。

皆が使っている常識を、否定するのは、大変。

明暗瓶法の値は、確かにおかしい。



生産力 No.14:
日本だけでなく、
世界中で使われて
いる明暗瓶法
での光合成の値
は、実際の野外で
の実際の光合成
を測定していな
かった。数値がで
るという事に満
足してはいけな
い。使われている
実験方法、数値を
出す方法は、確か
な方法かを常に
考える必要があ
る。でも、この事
は、学会誌などの
印刷物にしてい
ない。研究者とし
ての怠慢であっ
た。でも、いつか
発表したいと思
っていた

野外の生物を檻に入れたの活性測定、明暗瓶法の測定結果は、確かにおかしい。