

卒業論文

栄養塩循環における 河川植物群落の機能

北九州市立大学 国際環境工学部

環境化学プロセス工学科

2004511004 池田 千春

目次

1. 概要 Abstract	3
2. 緒言 Introduction	4
3. 実験 Materials and Methods	5
3.1. 実験地	
3.2. 対象植物	
3.3. 有機物の分解（リターバッグ法）	
3.4. 土壌微生物バイオマス（クロロホルムくん蒸抽出法）	
3.5. 土壌微生物呼吸（DO 測定法）	
4. 結果及び考察 Results and Discussion	13
4.1. 有機物の分解	
4.2. 土壌微生物バイオマス	
4.3. 土壌微生物呼吸	
5. 結論 Conclusion	21
6. 謝辞 Acknowledgements	21
7. 参考文献 Reference	21
8. 付録	23

1. 概要 Abstract

生態系を成立させる物質循環において、分解プロセスは重要な位置を占めている。河川植物群落における物質循環は植生浄化にも利用される機能であるが、その循環プロセスにおいて、特に河川土壌での有機物の分解という観点での報告は少ないのが現状である。本研究ではリターバッグ法を用いて有機物分解の測定を行い、河川植物群落における有機物の分解についての調査を行った。また、有機物の分解に密接に関わっている微生物の環境を調べる為に土壌微生物バイオマス量及び土壌微生物呼吸の測定も行った。有機物の分解は初期の 3 ヶ月間で進み、その後はほぼ減少がみられなくなった。分解が進んだ初期の 3 ヶ月間における有機物分解速度は植物条件による違いは認められなかった。土壌微生物バイオマス C について、植物なしの条件と比較して、植物が地上部地下部共にもしくは地下部のみに存在する場合、土壌微生物バイオマス C 量が多いことが有意に認められた。また、土壌微生物バイオマス C 及び土壌微生物呼吸について、植物が地上部地下部共に存在することにより、土壌高さが低く水をかぶる頻度が高い場所においても、土壌高さが高い場所と比較してほぼ同じ値を示す傾向がみられた。

The decomposition process hold a key position in the matter circulates formed the ecosystem. The matter circulates at aquatic plant community in river is the function using for waste water treatment, but the research that the decomposition of organic matter in river soil is few. In this study, we researched for decomposition of organic matter in aquatic plant community in river using litterbag method, and determine mass of soil microbial biomass and soil microbial respiration to know microbial surroundings. The decomposition of organic matter was improving in first three months, and it was delay afterward. The decomposition rate in first three months was not significant by vegetation condition. The mass of soil microbial biomass C was significantly different by the presence or absence of aquatic plant community. The mass of soil microbial biomass C and the soil microbial respiration were tend to show the low site that is flooded high frequency was much of same value the high site.

2. 緒言 Introduction

生態系は大きく分けて生産者系、消費者系、分解者系、非生物系の 4 つの系により成り立っており、地球上の物質は存在する場所によってその形態を変化させながら循環している。その中で河川における物質循環は、主として上流から流れてくる有機物が川を流れていく過程で沈殿等の物理的作用または微生物等による生物化学的作用によって、その形態が変化することにある。特に植物群落が存在する場合、海域への流出過程における物質変換だけではなく、河川系の中での物質循環経路が更に存在することになる。上流河畔林からのものに加えて植物群落からも流入した有機物は、植物による流れの抵抗を受け、植物群落内に長時間とどまることになる。その結果、それらの有機物は植物根圏付近において土壌微生物による分解作用を受けて無機化する。無機化物は植物によって栄養塩として吸収され、植物の生長に利用され有機物として合成される。そして再び、生長した植物から生産された有機物が供給され、栄養塩は循環する (Fig1)。

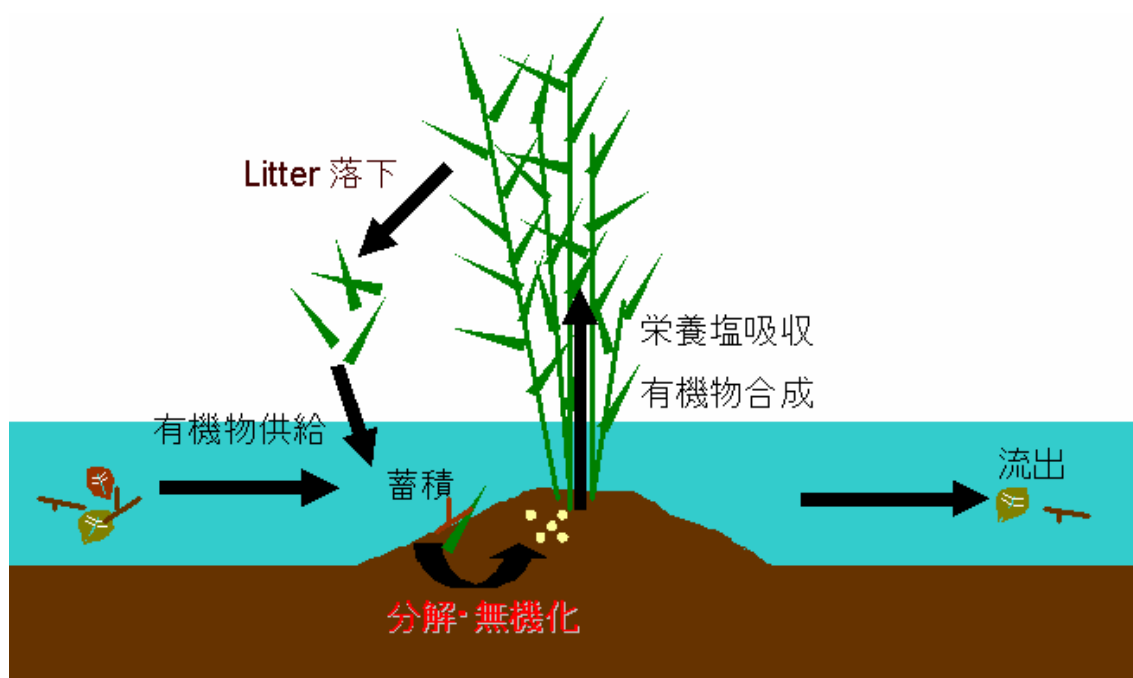


Fig1 河川における栄養塩循環

近年、水中や土壌中から有害物質の除去を行う為に、ファイトレメディエーションと呼ばれる植物による浄化（植生浄化）の技術が注目を集めている。この技術は富栄養化の対策として、栄養塩除去を目的とした水質浄化にも実際に用いられており、その有用性も認められている^{1),2),3)}。しかし、水質変化や植物体内への栄養塩の蓄積等の調査からその効果を評価する研究は多く存在するが、栄養塩循環過程における植物群落の役割や影響を詳しく評価している研究は少ない。また、物質循環プロセスのうち、特に分解のプロセスは永

続した栄養塩循環における有機化合物の重要性を担っている⁴⁾。しかし、陸上の系（森林、畑等）における分解プロセスに関する研究は多く存在するのに対して、河川植物群落土壌における分解プロセスの研究は報告が少ない。

そこで本研究では、河川植物群落が栄養塩循環に与える影響を有機物分解、及び微生物環境の観点から評価することを目的として調査を行った。

3. 実験 Materials and Methods

3.1. 実験地 Study site

実験は福岡県豊前市にある岩岳川（[33°34'N 131°07'E]）において行った（Fig2）。豊前市は、福岡県の東南端に位置し、南に求菩提山、犬ヶ岳をひかえ、ここに源を発する岩岳川を中心に豊前平野が扇状に開け、北は波静かな周防灘に面している。気候は瀬戸内海型気候区に属しているがその最西端に位置するために、日本海側気候との中間的な性格を持っている。年平均気温は 15～16 度、年間降水量は 1600mm である。岩岳川は、耶馬日田英彦山国定公園にある犬ヶ岳を源流とし、岩の多い上流の山間部を抜け中流部で佐井川と分派してからは川幅が狭くなり、豊前市の都市部を流下して周防灘に流れる流域面積 36.9km²、総延長約 20km の河川である⁵⁾。また、この河川は実験河川としても用いられており、河口からおよそ 8km 地点にある実験河川近辺ではツルヨシ（学名 *Phragmites Japonica* Steud.）が優占種として繁殖している。



Fig2 岩岳川の位置

3.2. 対象植物 Vegetation

ツルヨシ（学名 *Phragmites Japonica* Steud.）はイネ科に属し、本州から沖縄まで日本各地に広く分布している。高さは 1.5～2.0m ほどであり、河川における一般的な水生植物である。類似種として同じイネ科に属するヨシ（学名 *Phragmites australis* (Cav.) Trin.）があるが、ツルヨシよりもやや大きく、高さは 1～3m で直立している。また、ツルヨシはヨシよりも河のふちを好み、地上性の走出枝（匍匐茎）を生じる。



Fig3 ツルヨシ (*Phragmites Japonica* Steud.)

3.3. 有機物の分解（リターバッグ法）

3.3.1. リターバッグ法^{6),7)}

有機物の分解能の調査はリターバッグ法を用いて行った。リターバッグは、ナイロン製のメッシュ状（約 0.23×0.27mm）の布袋に、植物の主成分であるセルロースとして 5C 濾紙（55mm）2 枚を入れたもの（約 6×6cm）と 2007 年 5 月に現場で採取したツルヨシの葉身（40 度で乾燥した後に、約 4cm に切ったもの）約 3g を入れたもの（約 8×8cm）の 2 種類を用いた（Fig4）。全てのリターバッグは埋設前に乾燥重量を測定した。回収したリターバッグは 40 度で 48 時間以上乾燥させ、植物根の混入がみられたサンプルについてはピンセットで可能な限り除去した後に乾燥重量の測定を行った。リターバッグにはそれぞれ標識をつけており、埋設前後の重量の差から有機物の分解能を知ることができる。

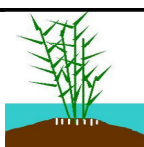


Fig4 リターバッグ (左：ろ紙 右：ツルヨシ)

3.3.2. リターバッグ埋設地の設定

リターバッグの埋設地は、無処理区画（何も手を加えていない状態であり、地上部、地下部共に植物が存在する）、刈り取り区画（ツルヨシの地上部を刈り取った状態であり、地下部のみに植物が存在する）、植物なし区画（プランターに河川土壌を入れた状態であり、地上部、地下部共に植物が存在しない）の 3 条件区画を設定した。また、それぞれの区画について、流路となっている河床からの土壌の盛り上がり高さ毎に 4 段階（A：～20cm、B：21～30cm、C：31～40cm、D：40cm～）に分割した（Table1）。無処理区及び刈り取り区については、土壌高さ毎に 3 箇所を設定することで反復をとり、植物なし区については 1 箇所に埋設するリターバッグの数を増やすことで反復をとった。

Table1 リターバッグ埋設地（上段：植物条件 下段：リターバッグ埋設数）

埋設箇所:28箇所 サンプル数:432個	河床からの土壌の盛り上がり高さ[cm]			
	A: ~20	B: 21~30	C: 31~40	D: 41~
無処理 	地上部: あり		地下部: あり	
	濾紙、ツルヨシ(2) × 回収回数(6) × 埋設箇所(3)			
刈り取り 	地上部: なし		地下部: あり	
	濾紙、ツルヨシ(2) × 回収回数(6) × 埋設箇所(3)			
植物なし 	地上部: なし		地下部: なし	
	濾紙、ツルヨシ(2) × 回収回数(6) × 反復個数(3)			

3.3.3. リターバッグの埋設

リターバッグの埋設は2007年7月20日に行い、回収は約30日毎に合計6回実施した。リターバッグは、土壌に切り込みを入れ表層約10cmに垂直に埋設した。このとき、それぞれのリターバッグ同士が接することがないように埋設し、流されないように針金で固定した。無処理区及び刈り取り区においては、埋設地点1箇所毎に濾紙のリターバッグを6個、ツルヨシのリターバッグを6個、合計12個埋設した。植物なし区においては、濾紙のリターバッグを18個、ツルヨシのリターバッグを18個、合計36個埋設した。

3.3.4. 有機物分解率及び分解速度の算出

有機物の分解は formula1 に示すような一次反応速度式として表すことができる⁴⁾。ここで、Xは有機物残存比（時間tにおいて残存している有機物量 X_t [g]/ 初期有機物量 X_0 [g]）を、tは埋設日数[days]を示している。

$$dX/dt = -kX \quad \dots \text{(formula 1)}$$

formula1 を積分すると、以下のようになる。

$$\ln X = -kt \quad \dots \text{(formula 2)}$$

そこで、縦軸に有機物残存比の自然対数を取り、横軸に時間経過をとったグラフを示し、その傾きとして有機物分解速度を各埋設地点について算出した。

3.4. 土壤微生物バイオマス（クロロホルムくん蒸抽出法）^{8),9),10)}

3.4.1. 土壤サンプリング

リターバッグの埋設地において3処理区それぞれのA～Dの土壤高さ毎に1箇所ずつ、合計12サンプル採取した。現場において河川水を入れたバケツに2mmメッシュのふるいを介して表層から約10cmまでの土壤について、粒径2mm以下の土壤を採取した。上澄みはできる限り取り除き、ポリエチレン製のサンプリングバッグに土壤を採取した。また、持ち帰ったサンプルは測定を行うまで冷蔵庫（4度）で保存した。

3.4.2. クロロホルムくん蒸抽出法

3.4.2.1. 原理

土壤微生物はクロロホルム蒸気でくん蒸処理するとその約9割が死滅し、それによって微生物分のC及びN成分は可溶化する。土壤中にはもともと可溶性成分が存在しているので、可溶化した土壤微生物の分だけ可溶性成分の濃度が増加することになる（Fig5）。この増加分をある一定のファクターで割ることで、土壤微生物バイオマス量 B_C 、 B_N を求めることができる。算出に用いた式を以下に示す。

$$B_C = 2.64 \times E_C^{10)} \quad \dots \text{(formula3)}$$

$$B_N = 2.22 \times E_N^{10)} \quad \dots \text{(formula4)}$$

ここで、 $E_{C(N)} = [(\text{くん蒸土壤中の可溶性成分}[\text{mg C (N) dry} \cdot \text{kg}^{-1}]) - (\text{非くん蒸土壤中の可溶性成分}[\text{mg C (N) dry} \cdot \text{kg}^{-1}])]$ であり、係数2.64及び2.22は微生物の無機化率を示すファクター $k_C = 0.45$ 、 $k_N = 0.57$ で校正した値である。

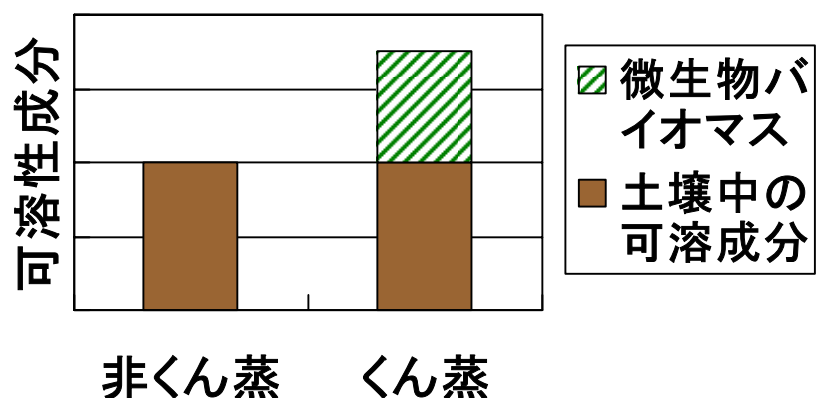


Fig5 クロロホルムくん蒸抽出法の原理

3.4.2.2. 実験方法

土壌サンプル約 10g をシャーレに量り取り、沸石を入れたクロロホルム、二酸化炭素吸収剤、水で湿らせた布と共にデシケータ中に入れ、ふたをしてデシケータ内を吸引減圧した (Fig6)。クロロホルムが沸騰してからさらに約 2 分間吸引を続けた後に、密閉状態にして 24 時間静置した。24 時間クロロホルムによりくん蒸した後、クロロホルム、二酸化炭素吸収剤、布をデシケータ内から取り出し、サンプル土壌のみにした。デシケータ内を再び吸引減圧し、サンプル土壌中のクロロホルムを除去した。完全にクロロホルムを除去する為に、吸引減圧の操作を 10 回行った。ポリボトルにくん蒸後の土壌を移し、0.01M 塩化カルシウム水溶液 40mL を加えて 200rpm で 30 分間振とう抽出を行った。この溶液を 5C 濾紙でろ過し、土壌を取り除いた濾液を得た (くん蒸サンプル)。同様に、土壌サンプル約 10g に 0.01M 塩化カルシウム水溶液 40mL を加え 200rpm で 30 分間振とう抽出した。この溶液を 5C 濾紙でろ過し、土壌を取り除いた濾液を得た (非くん蒸サンプル)。これらの操作によって得られたくん蒸及び非くん蒸サンプルについて、全有機炭素 (TOC) の測定と全窒素 (TN) の測定を行った (後述)。土壌サンプルは 2007 年 8 月、10 月、12 月に採取したものを使用した。

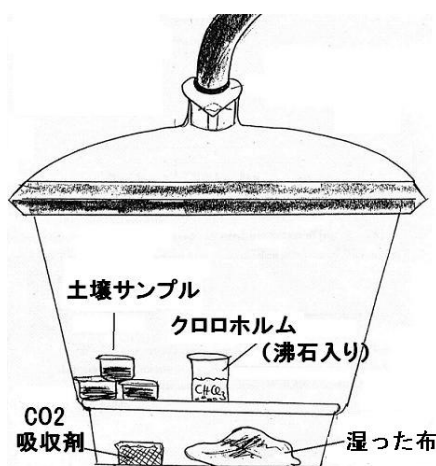


Fig6 クロロホルムくん蒸装置

3.4.3. 全有機炭素 (TOC) 測定¹¹⁾

3.4.3.1. 原理

試料に塩酸を加えて酸性 (pH3 以下、pH2~3 が適切) にしたあと、スパージガスを通気することにより、試料中の無機態炭素 (IC) は二酸化炭素となり試料中から除去される。このように IC が除去されたあとの試料の全炭素 (TC) を測定することにより、全有機炭素 (TOC) を求めることができる。試料が燃焼管内に注入されると、試料中の TC が燃焼あるいは分解して二酸化炭素になる。二酸化炭素などの燃焼性生物を含むキャリアガスは、燃焼管から除湿器へ移動し、そこで冷却、除湿される。さらに、ハロゲンスクラバを通して非分散型赤外線式ガス検出部 (NDIR) のセルに至り、二酸化炭素が検出される。検出されたピーク面積は試料中の TC 濃度に比例するので、TC 標準液により検量線をあらかじめ作成していることで試料中の TC 濃度を測定することができる。

3.4.3.2. 測定方法

特級試薬のフタル酸水素カリウム 2.125g を精製水に溶かし 1L にした (炭素濃度 1000mg/L)。この溶液を適宜希釈し、検量線の作成を行った。くん蒸及び非くん蒸のサンプルについて島津製作所の全有機炭素計 (TOC-V_{CSN}) を使用して TOC 測定を行い、得られた TOC 濃度から絶乾土壌 1kg あたりの炭素量を算出し、formula1 を用いて土壌微生物バイオマス C 量を算出した。

3.4.4. 全窒素 (TN) 測定¹²⁾

(アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解 - 紫外線吸光度法)

3.4.4.1. 原理

全窒素とは、水中に含まれるアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素と有機窒素の総量をいい、窒素量を持って表す。本法は、全ての窒素化合物についてアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウムを用いてオートクレーブ中で酸化分解して硝酸イオンとしたのち、この溶液を pH2~3 に調整し、硝酸イオンによる波長 220nm での吸光度を測定して全窒素濃度を求める方法である。

3.4.4.2. 測定方法

蒸留水 500mL に水酸化ナトリウム 20g を溶かした後にペルオキシ二硫酸カリウム 15g を溶解し、水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液の調整を行った。硝酸カリウム 0.722g を精製水に溶かして 1 L とし (100mg/L 溶液)、この溶液を適宜精製水によって希釈して検量液として使用する窒素標準液の調整を行った。塩酸 (1+16) の pH 調整液を調整した。

検量液とサンプル (くん蒸、非くん蒸) を分解瓶に 10mL ずつ量り取り、水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウム溶液を 2mL 加え、ただちに密栓して混合した。これらの分解瓶をオートクレーブを用いて 120 度で 30 分間加熱した。加熱後のサンプルは沈殿物が生じていたので、遠心分離 (1300rpm で 1 分間) によって沈殿物と上澄みに分け、上澄みを 10mL 量り取り pH 標準液を 1mL 加えた。pH 調整後の溶液を波長 220nm で吸光度測定を行った。検量液の測定によって作成した検量線から各サンプルの濃度を求め、絶乾土壌 1kg あたりの窒素量を算出し、formula2 を用いて土壌微生物バイオマス N 量を算出した。

3.5. 土壌微生物呼吸 (溶存酸素 (DO) 測定法)

測定には微生物バイオマス量の測定に使用したのと同じ土壌サンプルを用いた (2007 年 12 月採取)。土壌サンプル及び現場河川の水をケルダールフラスコに入れ、約 1 分間圧縮空気を通してバブリングしてからパラフィンシールで密閉した容器内 (Fig7) の溶存酸素 (DO) 量の変化について DO 電極 (TOA-DKK 溶存酸素センサふらん瓶用 OE-470BA) を用いて測定した。測定は 20℃ の一定温度条件下において約 30 分間行った。DO 測定後、使用した土壌の絶乾重量を測定し、DO 測定における溶存酸素の減少量から

単位乾燥土壌重量辺りの酸素（モル濃度）の減少速度を算出し、その値を土壌微生物呼吸の指標として用いた。



Fig7 DO 濃度測定装置

4. 結果及び考察 Results and Discussion

4.1. 有機物の分解

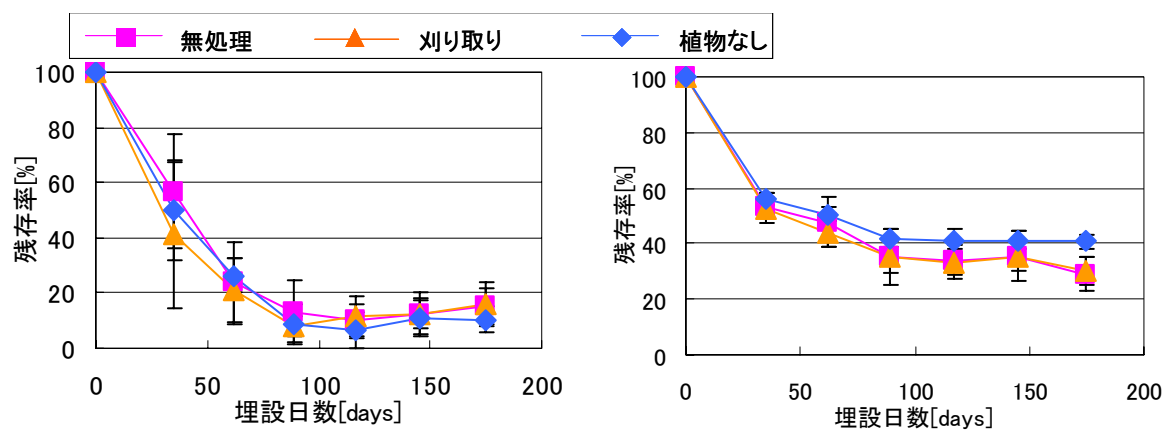


Fig8 リターバッグの重量変化（左：濾紙 右：ツルヨシ）

回収日ごとのリターバッグ内の有機物の残存率を示した。埋設日数 0 日は埋設前の重量を示し、回収は埋設日から 35、62、89、117、145、175 日目に行った。また、図中のエラーバーは植物条件毎の標準偏差を示している。

分解は濾紙及びツルヨシいずれの場合においても初期の3ヶ月（埋設日数89日間）で進み、その後はほぼ一定の値を保った（Fig8）。最終的な有機物の残存率は濾紙が2～35%、ツルヨシが16～45%であった。

また分解速度は、Fig8を参考に、分解が進んだ初期の3ヶ月間（0～89日間）について算出した。formula2に従って、グラフを描くとほぼ直線となり、一次方程式として示すことができた（Fig9）。分解速度は各埋設地点について算出を行った。

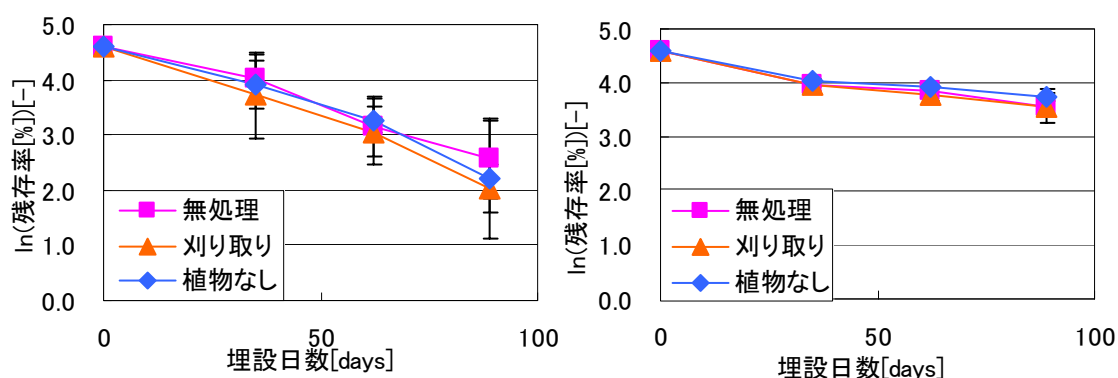


Fig9 対数軸への変換（埋設日数89日目まで）

左図が濾紙のリターバッグ、右図がツルヨシのリターバッグにおける有機物残存率を示しており、図中のエラーバーは標準偏差を示している。

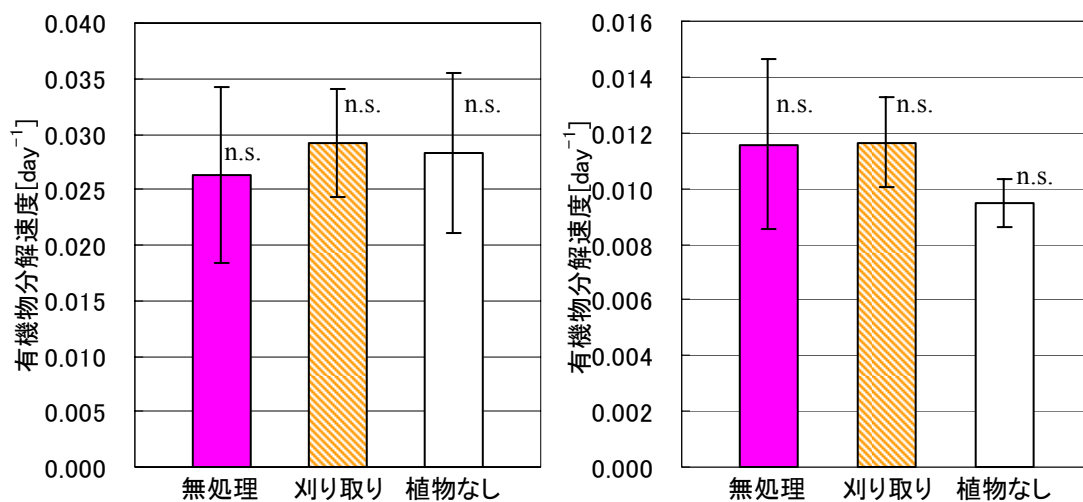


Fig10 植物条件毎の平均有機物分解速度（左：濾紙 右：ツルヨシ）

植物条件毎の有機物分解速度の平均値を示した。左図が濾紙のリターバッグ、右図がツルヨシのリターバッグにおける分解速度を示している。また、図中のエラーバーは標準偏差であり、n.s. (not significant) は一元配置分散分析における有意水準5%において有機物分解速度のそれぞれの値の間に有意差が認められないことを示している。

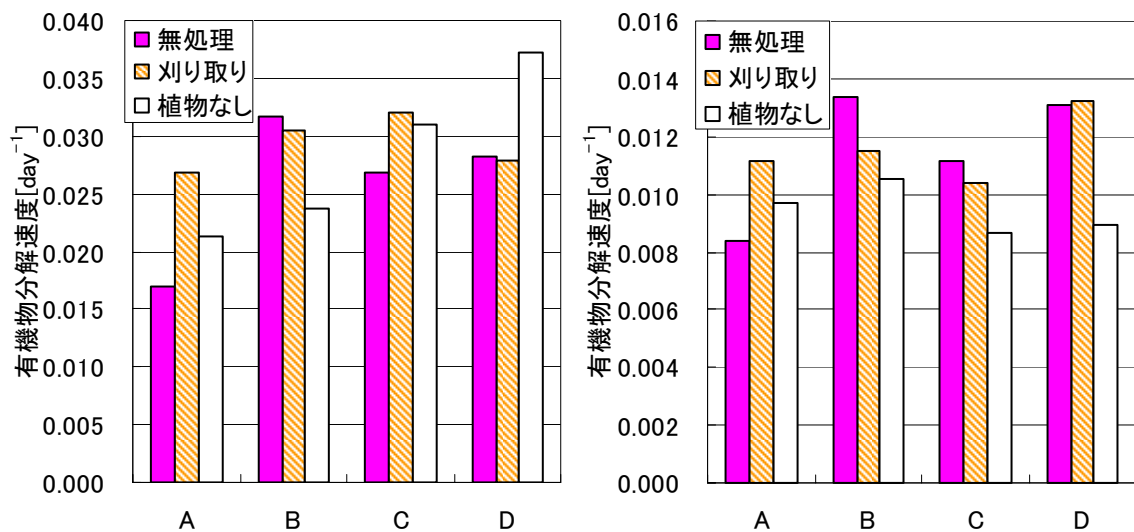


Fig11 土壌高さ別有機物分解速度（左：濾紙 右：ツルヨシ）

有機物分解速度を土壌高さ毎に平均を取ったものを示している。左図が濾紙のリターバッグ、右図がツルヨシのリターバッグについて表したものである。A、B、C、D の順に土壌高さが低い。

SPSS¹³⁾ を用いた一元配置分散分析の結果、濾紙及びツルヨシの場合のいずれにおいても植物条件の違いによる有機物分解速度への有意差は認められず、植物条件の違いによって有機物の分解速度に違いがあるとはいえなかった (Fig10)。また、有機物の分解速度を土壌高さ別にみた場合において、濾紙についてもツルヨシについても各土壌高さにおいてほぼ似た値を示し、区画 A において分解速度が遅いようにみられるものの、区画 B~C について土壌高さが低い方が分解速度は遅くなるという傾向としては、濾紙の植物なしの区画以外には特に現れなかった (Fig11)。従って、植物群落の存在による有機物分解速度への影響は小さいと考えられる。

4.2. 土壤微生物バイオマス

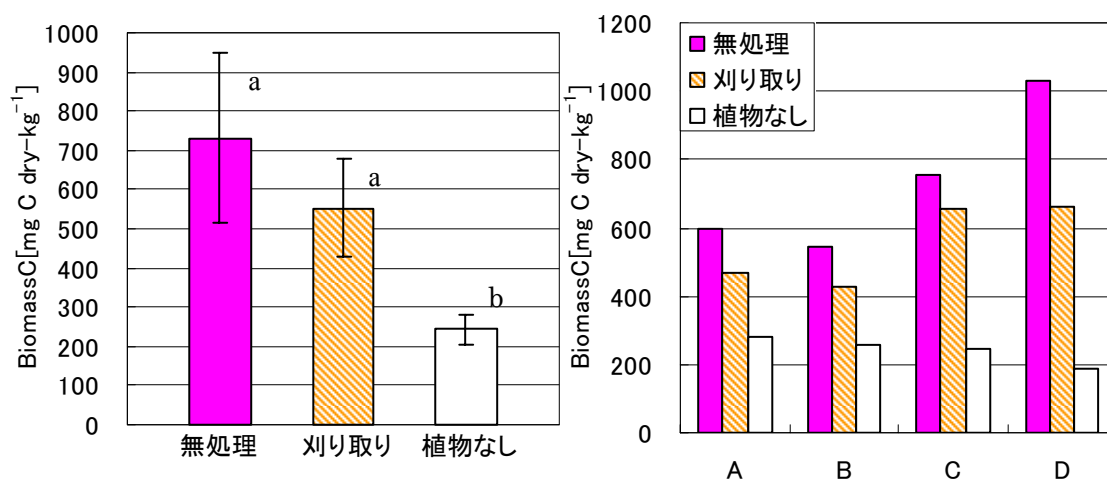


Fig12 2007年8月 土壤微生物バイオマス C

左図が 2007 年 8 月における植物条件毎の土壤微生物バイオマス C 量の平均値、右図が土壌高さ別にみた場合の土壤微生物バイオマス C 量を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、a、b は一元配置分散分析における有意水準 5%で a>b の有意差を示している。

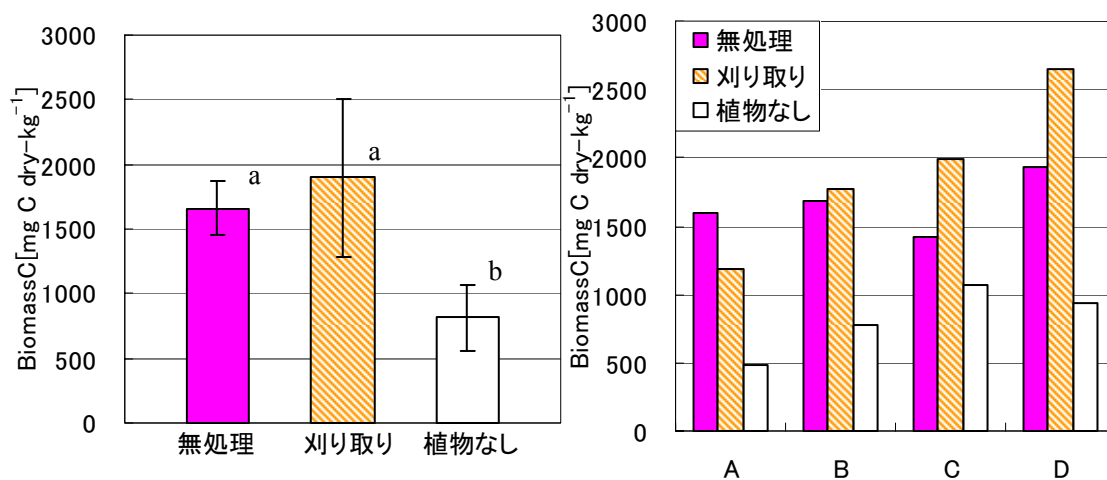


Fig13 2007年10月 土壤微生物バイオマス C 量

左図が 2007 年 10 月における植物条件毎の土壤微生物バイオマス C 量の平均値、右図が土壌高さ別にみた場合の土壤微生物バイオマス C 量を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、a、b は一元配置分散分析における有意水準 5%で a>b の有意差を示している。

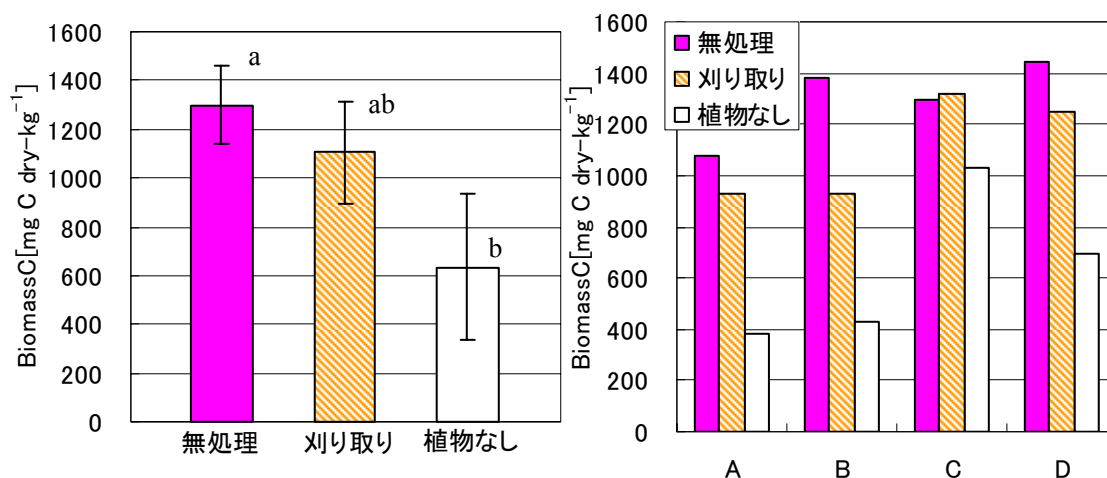


Fig14 2007 年 12 月 土壤微生物バイオマス C

左図が 2007 年 12 月における植物条件毎の土壤微生物バイオマス C 量の平均値、右図が土壤高さ別にみた場合の土壤微生物バイオマス C 量を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、a、b は一元配置分散分析における有意水準 5% で $a > b$ の有意差を示している。また、ab は a、b のいずれに対しても有意差が認められなかったことを示している。

土壤微生物バイオマス C 量（平均値）は 2007 年 8 月、10 月、12 月においてそれぞれ植物なし条件区の 91.8、309、240 mg C dry-kg⁻¹ に対して、無処理区においてはそれぞれ 277、628、492 mg C dry-kg⁻¹、刈り取り区においてはそれぞれ 209、718、419 mg C dry-kg⁻¹ と植物が存在することによって約 2 倍の値を示した (Fig12、13、14 左)。これらの結果を SPSS¹³⁾ を用いて一元配置分散分析を行った結果、植物条件の違いにより土壤微生物バイオマス C 量に有意差がみられ、また、Bonferroni を用いて多重比較を行った結果、無処理区と植物なし区、刈り取り区と植物なし区の間においてそれぞれ 5% 水準で有意差が認められた。従って、植物、ここでは特に地下部に植物がある（植物根圏が存在する）ことによって土壤微生物バイオマス C 量は増加することが分かった。また、土壤高さ別に土壤バイオマス C 量をみた場合、無処理区については土壤高さが低い地点（区画 A）においても土壤高さが高い地点（区画 D）と比較して、その値は大幅には減少しない傾向がみられた (Fig13、14 右)。このことから、植物が地上部地下部共に存在することにより、土壤高さが低く水をかぶる頻度が高い地点においても、土壤高さが高い場所と同じくらいの土壤微生物バイオマス C 量を維持することができることが考えられる。

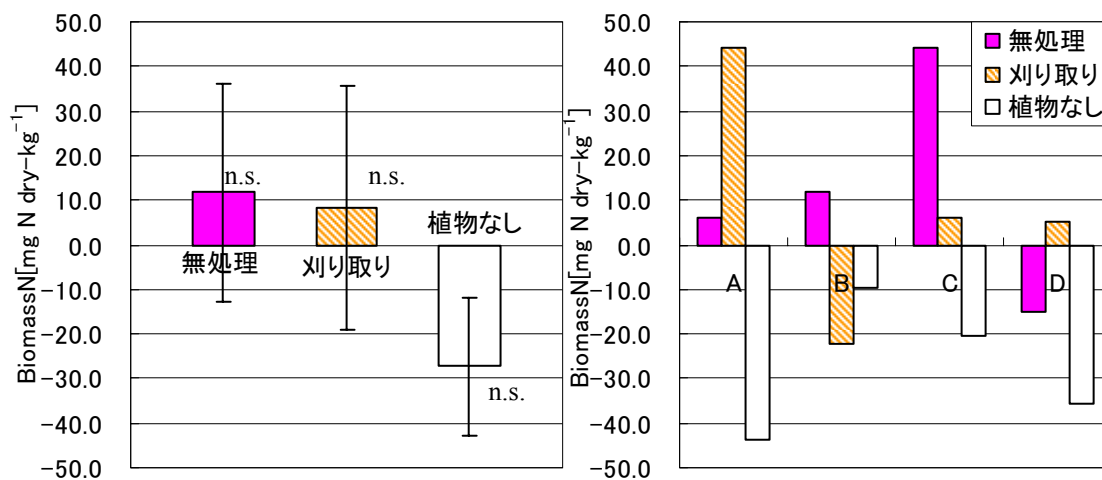


Fig15 2007 年 8 月 土壤微生物バイオマス N

左図が 2007 年 8 月における植物条件毎の土壤微生物バイオマス N 量の平均値、右図が土壌高さ別にみた場合の土壤微生物バイオマス N 量を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、n.s. (not significant) は一元配置分散分析における有意水準 5%において有意差が認められなかったことを示している。

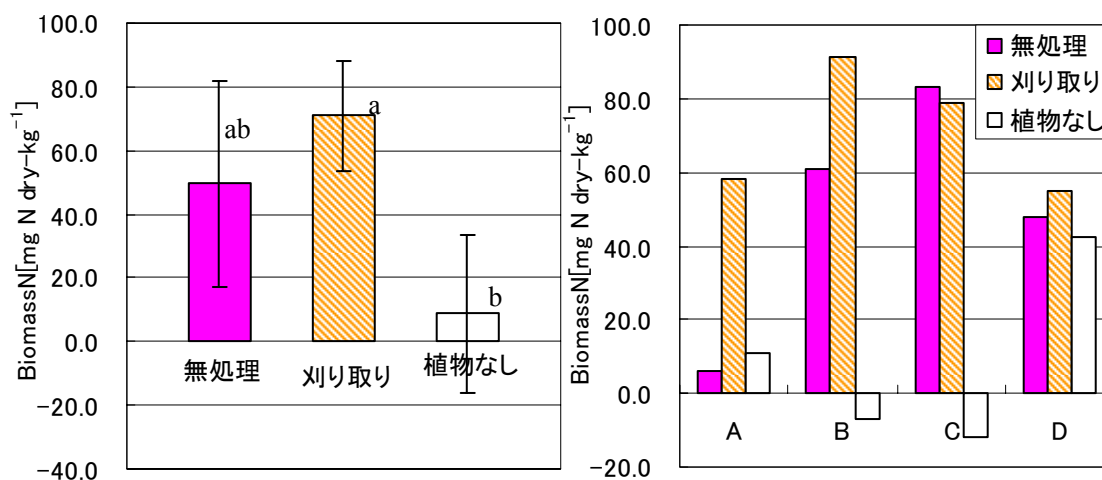


Fig16 2007 年 10 月 土壤微生物バイオマス N 量

左図が 2007 年 10 月における植物条件毎の土壤微生物バイオマス N 量の平均値、右図が土壌高さ別にみた場合の土壤微生物バイオマス N 量を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、a、b は一元配置分散分析における有意水準 5%で $a > b$ の有意差を示している。また、ab は a、b のいずれに対しても有意差が認められなかったことを示している。

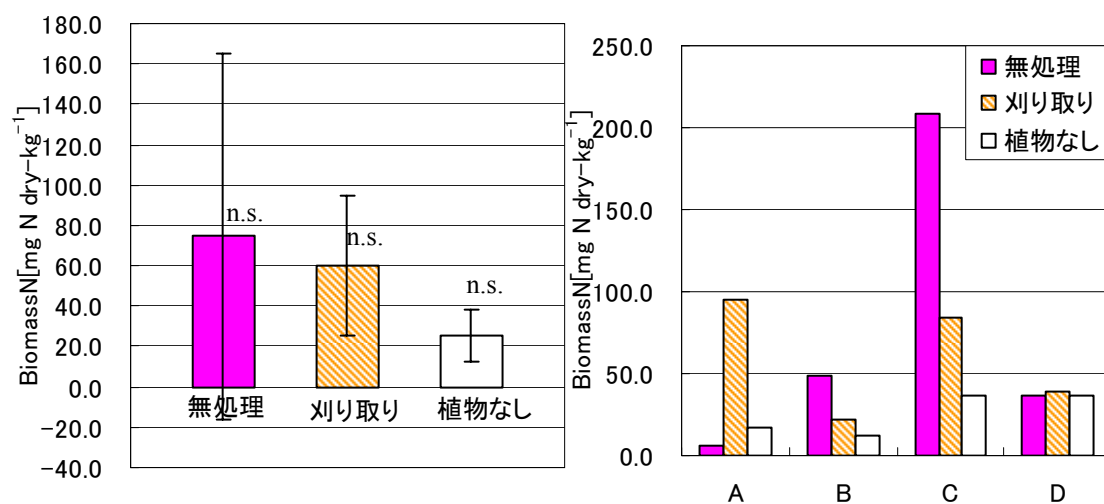


Fig17 2007 年 12 月 土壤微生物バイオマス N

左図が 2007 年 12 月における植物条件毎の土壤微生物バイオマス N 量の平均値、右図が土壌高さ別にみた場合の土壤微生物バイオマス N 量を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、n.s. (not significant) は一元配置分散分析における有意水準 5%において有意差が認められなかったことを示している。

一方で、土壤微生物 N についてはデータのばらつきが大きく、植物の有無によって土壤微生物バイオマス N 量に有意差は認められなかった (Fig15、17 左)。ここで、土壤微生物バイオマス N 量がマイナスになっているのは、非くん蒸サンプルの濃度がくん蒸サンプルの濃度よりも高かった為である。

4.3. 土壌微生物呼吸

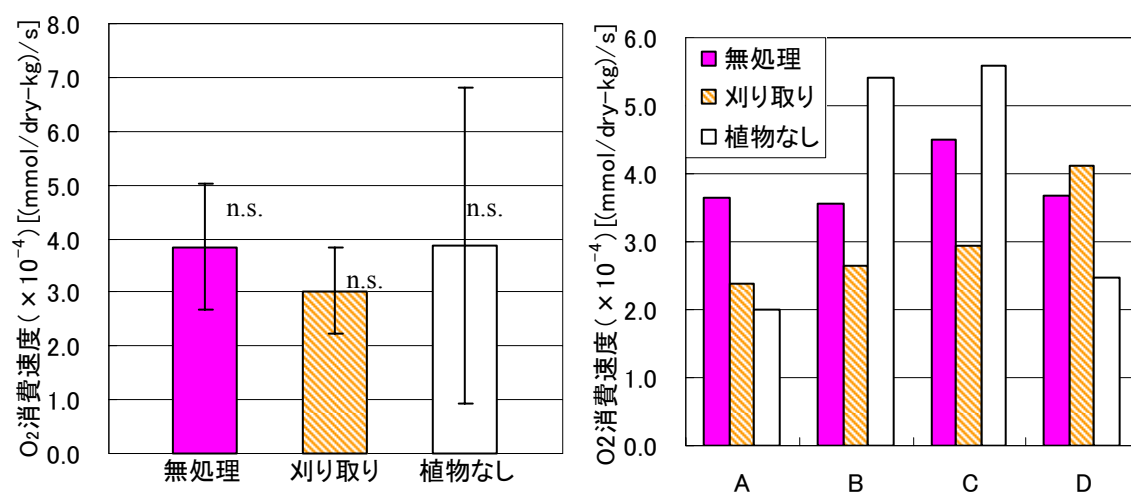


Fig18 O_2 消費速度 (左：植物条件毎の平均値 右：土壌高さ別)

左図が植物条件毎の O_2 消費速度の平均値、右図が土壌高さ別にみた場合の O_2 消費速度を示している。また、左図中のエラーバーは標準偏差であり、n.s. (not significant) は一元配置分散分析における有意水準 5%において有意差が認められなかったことを示している。

SPSS¹³⁾ を用いた一元配置分散分析の結果から、 O_2 消費速度において植物条件の違いによる有意差は認められなかった (Fig18 左)。また、土壌高さ別にみた場合、無処理区については、土壌高さが低い地点 (区画 A) においても土壌高さが高い地点 (区画 D) と比較して、その値はほぼ同じ値を示している (Fig18 右)。ツルヨシをはじめとする水生植物は通気組織を有していることにより、植物根圏への酸素供給が行われている¹⁴⁾。従って、土壌高さが低い地点において土壌高さが高い地点とほぼ同じ値を示すのは、植物からの酸素供給により好気性の土壌微生物活性が維持されるのではないかと考えられる。また、無処理区ではこのような傾向がみられるのに対して刈り取り区では同様の傾向を示さなかったことから、植物根圏への酸素供給は地上部に植物が存在することにより促進されると考えられる。

5. 結論 Conclusion

本研究により、埋設初期の 3 ヶ月における有機物分解速度は植物群落の有無による影響をほとんど受けないことが分かった。この一方で微生物環境においては、植物群落の有無による影響が現れた。土壌微生物バイオマス C 量は植物群落が存在することにより、植物群落がない場合と比較するとその量が増加する傾向にある。また、ここでは特に地下部（根圏）による影響が強いと考えられる。土壌微生物呼吸については、植物が地上部地下部共に存在することにより、土壌高さが低い地点においても土壌高さが高い地点と同等の好気性微生物の活性が保たれる傾向にある。これは、ツルヨシによって根圏への酸素供給が起これ、根圏が酸化的に保たれる為であると考えられ、特に植物の地上部の存在による影響が強いと考えられる。

6. 謝辞 Acknowledgements

原口昭教授、伊豫部勉特別研究員をはじめ、本研究を進めるにあたりご指導及びご協力いただきました全ての方々に深く御礼申し上げます。

7. 参考文献 References

- 1) 宗宮功, 1995. 自然の浄化機構, 技報堂出版株式会社, 134-145.
- 2) 吉田隆, 2000. 植物による環境負荷低減技術, 株式会社エヌ・ティー・エス, 47-94, 135-168.
- 3) 玉井信行, 奥田重俊, 中村俊六, 2001. 河川生態環境評価法 潜在自然概念を軸として, 財団法人 東京大学出版会, 124-134.
- 4) David C. Coleman, D. A. Crossley, Jr., 1996. Fundamentals of Soil Ecology, Academic Press, 109-139.
- 5) 岩岳川河川研究所 <http://www6.ocn.ne.jp/~buzen/index.html>

- 6) Akira Haraguchi, Hisaya Kojima, Chiaki Hasegawa, Yukari Takahashi, Tsutomu Iyobe, 2002. Decomposition of organic matter in peat soil in a minerotrophic mire, *European Journal of Soil Biology* 38, 89-95.
- 7) Akira Haraguchi, Chiaki Hasegawa, Akiko Hirayama, Hisaya Kojima, 2003. Decomposition activity of peat soils in geogenous mires in Sasakami, central Japan, *European Journal of Soil Biology* 39, 191-196.
- 8) 土壌標準分析・測定法委員会, 1994. 土壌標準分析・測定法, 株式会社 博友社, 293-311.
- 9) M. Brake, H. Hoper, R.G. Joergensen, 1999. Land use-induced changes in activity and biomass of microorganisms in raised bog peats at different depths, *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1489-1497.
- 10) 土壌環境分析法編集委員会, 2000. 土壌環境分析法, 株式会社 博友社, 146-152.
- 11) TOC-V CSH/CSN ユーザーズマニュアル, 島津製作所
- 12) 日本分析化学会北海道支部, 2006. 水の分析 (第 5 版), 株式会社化学同人, 320-323.
- 13) SPSS for Windows, リリース 11.0.1J (15 Nov 2001), スタンダードバージョン
- 14) 根の辞典編集委員会, 1998. 根の辞典, 株式会社 朝倉書店, 343-345.
- 15) Jiangming Mo, Sandra Brown, Jinghua Xue, Yunting Fang, Zhian Li, Dejun Li, Shaofeng Dong, 2007. Response of nutrient dynamics of decomposing pine (*Pinus massoniana*) needles to simulated N decomposition in a disturbed and a rehabilitated forest in tropical China, *Ecol Res* 22, 649-658.

8. 付録

8.1. リターバッグの有機物残存率

Table2 各回収日における有機物残存率 [%] (濾紙)

回収日		20070720	20070824	20070920	20071017	20071114	20071212	20080111
埋設日数		0	35	62	89	117	145	175
無処理	A	100	59.3	58.1	11.4	14.4	11.6	12.8
		100	56.1	44.2	33.2	24.5	20.5	--
	B	100	78.1	20.9	10.2	7.41	20.2	20.7
		100	62.6	15.3	4.35	6.51	8.59	12.5
	C	100	24.4	11.1	3.92	7.17	13.6	7.65
		100	82.3	22.0	10.8	6.91	10.7	14.2
		100	68.9	24.6	38.1	4.13	6.12	31.3
		100	29.4	18.2	5.42	9.03	15.8	16.2
	D	100	78.1	21.0	11.3	12.1	7.16	16.9
		100	31.4	15.3	8.87	6.59	--	8.17
		100	54.0	8.98	8.54	11.1	10.0	9.67
刈り取り	A	100	81.0	28.5	14.7	24.1	16.7	16.7
		100	54.4	16.0	7.62	10.7	14.5	9.07
		100	47.8	30.7	7.44	12.9	26.2	11.7
	B	100	37.2	7.20	4.56	12.2	8.85	10.8
		100	50.4	37.9	12.2	4.30	3.88	12.1
		100	9.28	20.3	5.19	4.85	5.96	12.3
		100	18.5	8.59	4.57	5.49	11.0	12.1
	C	100	68.0	34.7	4.23	4.87	6.39	18.4
		100	14.3	13.2	5.55	6.24	6.71	26.2
	D	100	83.4	33.4	7.54	27.5	24.8	16.1
		100	11.2	9.93	12.8	15.8	17.1	35.9
		100	19.1	11.4	5.31	7.37	9.19	13.0
植物なし	A	100	69.2	21.6	11.6	-1.29	26.8	5.59
		100	41.9	27.2	21.2	20.2	11.1	1.77
		100	58.5	39.2	12.6	-0.32	10.8	--
	B	100	63.5	34.4	12.4	2.09	6.29	13.8
		100	66.6	23.8	2.79	1.48	9.52	9.94
		100	67.5	25.3	22.8	2.68	4.89	5.97
	C	100	30.5	26.2	3.07	12.8	6.41	16.5
		100	17.0	25.4	8.38	6.00	3.24	14.3
		100	36.8	17.7	3.97	9.84	16.3	12.3
	D	100	28.5	32.6	3.57	8.77	8.06	6.56
		100	54.2	19.5	0.50	6.40	19.6	14.8
		100	62.1	23.8	5.07	9.69	9.94	14.1

注) ここで、「——」は未回収を示す。

Table3 各回収日における有機物残存率 [%] (ツルヨシ)

回収日		200707020	20070824	20070920	20071017	20071114	20071212	20080111
埋設日数		0	35	62	89	117	145	175
無処理	A	100	55.2	62.8	43.8	42.7	37.5	34.2
		100	53.9	54.3	44.0	41.3	45.3	37.3
	B	100	53.3	44.7	23.1	40.5	40.0	37.8
		100	58.2	40.6	38.4	28.2	31.6	26.4
	C	100	53.2	40.4	45.4	29.1	33.1	16.9
		100	51.8	37.7	34.7	37.9	34.4	25.0
		100	54.0	55.6	47.6	31.7	46.9	27.3
		100	52.1	57.7	20.9	32.4	35.9	32.1
	D	100	51.8	51.9	20.9	25.0	14.4	29.9
		100	50.2	41.1	38.1	29.9	—	25.8
		100	48.7	38.5	32.5	30.1	35.6	27.6
刈り取り	A	100	60.3	50.3	38.0	38.4	28.5	33.0
		100	51.2	46.7	34.3	34.3	34.1	28.9
		100	56.8	48.1	35.1	36.4	32.6	35.6
	B	100	52.5	39.6	42.2	36.1	39.1	27.4
		100	55.4	41.5	33.7	28.7	35.0	32.7
		100	46.4	44.4	41.5	35.1	34.9	31.9
		100	61.5	51.7	25.8	29.5	43.3	23.9
	C	100	55.4	40.6	42.8	41.5	37.3	32.9
		100	51.7	42.0	38.1	31.3	34.1	28.7
	D	100	44.1	41.5	32.4	30.9	45.6	40.9
		100	47.0	38.0	28.7	32.7	32.1	27.1
		100	50.9	38.0	28.5	25.6	28.4	22.8
植物なし	A	100	54.5	51.0	40.9	34.8	39.6	42.4
		100	51.9	49.7	40.2	37.1	37.9	41.7
		100	52.9	49.5	40.0	36.3	42.1	42.2
	B	100	56.7	47.2	40.0	37.8	36.4	39.1
		100	57.3	50.1	36.2	38.8	35.9	41.9
		100	57.3	45.7	38.8	43.4	40.1	36.8
	C	100	57.1	55.7	43.7	41.8	43.7	37.5
		100	58.4	50.5	46.0	39.5	41.6	44.7
		100	57.4	50.8	45.9	42.6	45.6	39.6
	D	100	58.6	54.7	43.0	46.3	41.5	43.5
		100	56.7	52.3	42.5	49.2	43.3	37.6
		100	55.6	50.6	45.5	44.0	45.4	43.3

注) ここで、「—」は未回収を示す。

8.2. 土壤微生物バイオマス C 及び N の測定結果

Table4 土壤微生物バイオマス C[mg dry-kg⁻¹]

埋設地		2007 年 8 月		2007 年 10 月		2007 年 12 月	
		非くん蒸	くん蒸	非くん蒸	くん蒸	非くん蒸	くん蒸
無処理	A	59.0	285	66.5	672	59.1	467
	B	57.4	264	84.4	721	68.5	590
	C	67.0	352	63.3	603	69.5	560
	D	96.8	487	74.5	807	85.8	633
刈り取り	A	49.6	227	64.4	512	58.3	410
	B	46.8	208	65.1	734	57.2	408
	C	59.7	309	78.4	832	76.8	577
	D	60.0	310	95.7	1097	84.3	559
植物なし	A	42.9	150	38.4	220	30.8	177
	B	38.4	135	43.9	339	36.3	198
	C	40.9	133	59.4	464	47.1	438
	D	39.7	111	39.5	395	38.3	302

Table5 土壤微生物バイオマス N[mg dry-kg⁻¹]

埋設地		2007 年 8 月		2007 年 10 月		2007 年 12 月	
		非くん蒸	くん蒸	非くん蒸	くん蒸	非くん蒸	くん蒸
無処理	A	19.0	21.8	29.8	32.5	24.1	27.1
	B	8.99	14.3	8.69	36.1	5.44	27.3
	C	26.7	46.5	4.91	42.4	7.74	102
	D	45.7	39.0	7.93	29.6	6.65	22.9
刈り取り	A	12.7	32.6	4.47	30.6	4.91	47.7
	B	28.1	18.2	11.6	52.8	5.12	15.2
	C	18.4	21.1	6.71	42.3	19.2	57.3
	D	27.2	29.6	23.8	48.6	11.2	28.8
植物なし	A	40.0	20.3	19.0	24.1	9.44	16.9
	B	16.5	12.2	37.9	34.8	14.3	19.7
	C	17.3	8.22	60.8	55.5	5.39	22.0
	D	23.3	7.18	9.87	29.0	2.16	18.7

8.3. 土壤微生物呼吸の測定結果

Table6 土壤微生物呼吸

埋設地点		O ₂ 消費速度 (× 10 ⁻⁴) [mmol dry-kg ⁻¹ s ⁻¹]		
		測定 1 回目	測定 2 回目	測定 3 回目
無処理	A	5.64	2.61	2.65
	B	4.89	3.37	2.44
	C	4.18	3.33	6.03
	D	3.37	4.09	3.60
刈り取り	A	2.40	2.37	2.36
	B	3.07	2.44	2.39
	C	3.41	2.99	2.43
	D	4.94	3.72	3.66
植物なし	A	1.67	1.13	3.16
	B	11.6	2.56	2.09
	C	5.13	5.54	6.06
	D	1.40	2.45	3.60