

雪国エコロハウス

－下水処理の土壤浄化－

ECOLO-HOUSE in heavy snowfall region
- Study of the purification of sewage water through peat layer -

梅宮弘道
Hiromichi UMEMIYA

手塚和
Wataru TEZUKA

Abstract

In recent years, the pollution of river becomes a serious environment problem in local cities. One of the largest sources of the pollution is the drainage of the private combined-sewage disposal. In Ecolo-House, a field study of purification of sewage water through peat layer has started as the high quality purifying method. Peat is composed of the layer of ancient grasses or plants where many kinds of microbes especially anaerobic resolve nitrate or digest organic matter, while of which permeability is small enough to work as a filter of high quality for the drainage. On the other hand, peat layer is very popular especially basin area in north Japan. The main objectives of the field study were following two items. 1) The recycling water from the conventional sewage disposal facilities as the water resources. 2) The investigation of the ability for a peat layer as the purifying layer.

The experimental results of the field test led to the following conclusions:

- 1) The COD value of the waste water decreased from 15 to 0.15[ppm] through the peat layer facilities. Neither bacteria nor colitis germs which were contained numerously in the waste water were found in the filtrated groundwater.
- 2) Removal of the NO_2^- and NO_3^- ions through peat layer, utilizing the activities of numerous micro-organisms more than 3.0×10^8 in 1[ml] in the peat layer, was confirmed.

These results certify the method of recycling utilization of the waste water through the natural peat layer which is very popular in north Japan.

Key Word : Water Resource, Water Recycling, Purification of Sewage Water, Peat Layer

1. 緒言

著者らの研究室では豪雪地域にありながら四季を通じて快適性、経済性に優れ、かつ環境との調和という目的に適う総合的な住空間システムを提案し、エコロハウス（写真1）と名付け研究を行ってきた。一昨年までの井戸水及び、貯湯槽と産業廃材を用いた薪ボイラの組み合わせによる水循環式床暖房システムに関する研究⁽¹⁾では、i) 夏冬を通して快適な住環境を実現できること、ii) 極めて高い経済性を發揮することを報告した。

本研究室の所在する米沢のような地方都市では、大都市型の下水道の普及は、その建設・維持にかかる多額の費用のため非常に困難なものとなっている。そのため大半の家庭では、その代替手段として合併浄化槽を導入している。合併浄化槽で浄化処理された下水処

理水は、側溝等の表流水に直接排出されているのが現状であり、これに起因する河川及びその周囲の環境汚染問題は見過ごすことの出来ないものになっている。

このような背景から本研究室ではエコロハウスの建設された米沢市を含む置賜地域のほぼ全体が、その地層の構成要素として泥炭層を含むことに注目した。泥

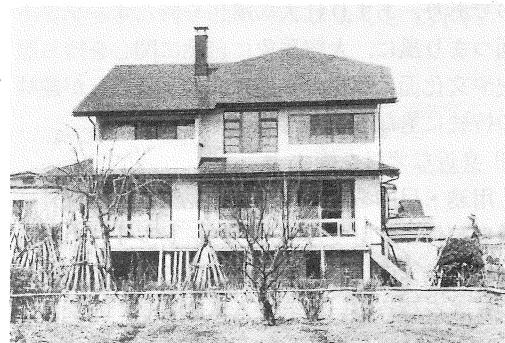


写真1. エコロハウスの外観

炭層は湿原植物などが枯死・堆積し、部分的に分解・炭化作用が行われたものであり、非常に目が細かく濾過器としての効果が期待できるほか、内部に生息する細菌の嫌気性呼吸による脱窒効果から硝酸汚れの浄化も期待できる。なお、この泥炭層は東北地方に限ったものではなく、極地から熱帯地方に至るまで、世界中に広く分布している地層である。本研究では、この泥炭層を浄化装置として利用した水資源リサイクルシステムを提案し、このシステムに関して以下の項目に沿って調査・研究を行った。

- 1) 合併浄化槽の下水処理水の飲料水源としての再利用。
- 2) 泥炭層の浄化能力評価。

2. 水資源リサイクルシステムの概要

エコハウスの基礎には舟形基礎を採用している。すなわち軟弱な泥炭土上に建設するために、一旦表土を泥炭層上面まで掘り下げ、厚さ0.3[m]程度に粒径の大きい玉石を敷き詰め（写真2）その全面に舟形の土台を設けた後に家屋を建設している。そのため地下0.5～0.7[m]、敷地面積480[m²]全体にわたって、水平方向に非常に水はけのよい層が広がっていることになる。



写真2. 玉砂利敷設風景

図1にエコハウス下の地層断面構造と下水処理水浄化システムの流路線図を示す。エコハウスから排出された生活排水は合併浄化槽内で処理される。本システムでは、排水用の配管を排出口の直前で分岐させ（写真3），そこから図2に示す農業用の穴あきパイプ（穴部寸法：10×1[mm]，開孔率：3[%]，開孔面積：48[cm²/m]，吸水率：85～90[%]）を敷地の北半周に設置、下水処理水が、一般家庭ではそのまま側溝・河川等に直接放流される所を、ここを経由して敷地全体に散布されるようにした。また、従来の排出口にはヘ

ッド調節用のバルブを設けてある。穴あきパイプから散布された下水処理水は図1の(2)に示す分散領域（玉石層：面積480[m²]，厚さ0.2[m]）で敷地内に分散された後、図1の(3)の浄化領域（泥炭層：平均厚さ4.0[m]）に浸透・浄化され帶水領域に至り、再び飲料水として汲み上げられる。

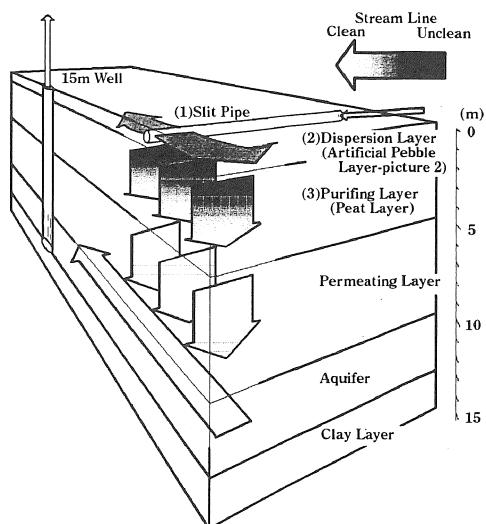


図1. 地層断面構造と流路線図

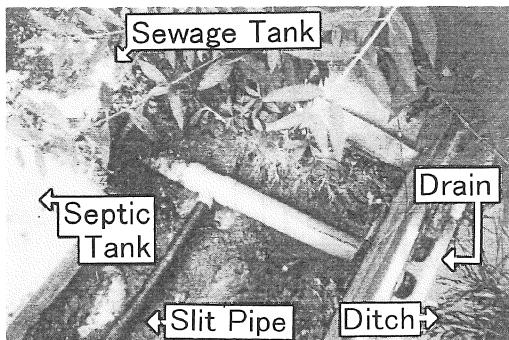


写真3. 下水処理水散布装置分岐点

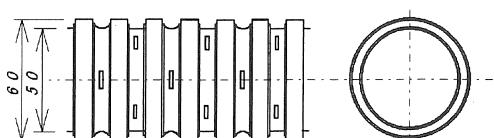


図2. 下水処理水散布用穴あきパイプ

3. 泥炭層と微生物

3.1 泥炭層の透水係数

図3のような実験装置を用い、変水位透水試験法によって泥炭層の透水係数を測定した。これは、ボーリングコアチューブをそのまま活用したものである。ある時間 t_1 [s]の時の水位管の水位が下降した量を測定して透水係数を求める。試料（泥炭）の長さを L [m]、その断面積を A_m [m^2]、水位管の断面積を A_p [m^2]、時間 $t=t_1$ の時の水位管の読みを h [m] とすれば、水位下降速度は $-dh/dt$ となる。負号は時間が経過するにつれて水位が減少することを意味している。

水位管を下降した水量は透水量に等しいので、Darcyの法則から、

$$-A_p \frac{dh}{dt} = K \frac{h}{L} A_p \quad (1)$$

時間 t_1 の水頭を h_1 、 t_2 の水頭を h_2 として上式を積分すると、

$$-A_p \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = K \frac{A_p}{L} \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (2)$$

従って、

$$K = \frac{A_p L}{A_m (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3)$$

となる。これより透水係数を算出する。

図4が日毎の測定結果である。縦軸が透水係数の値、横軸が日付である。日が経つにつれ透水係数が小さくなり徐々に目詰まりが進行している様子がわかる。2/12以降を安定したと見なすと、安定後の平均値は

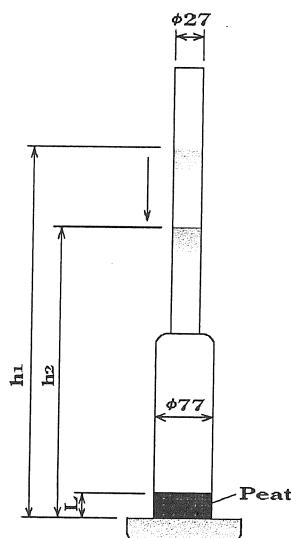


図3. 透水係数測定装置

9.6×10^{-8} [m/s] で、緩速濾過砂の $4.5 \sim 7 \times 10^{-5}$ [m/s]⁽²⁾ と比較してもきわめて小さな数値である。このことから泥炭の濾過器としての効果が期待できる。

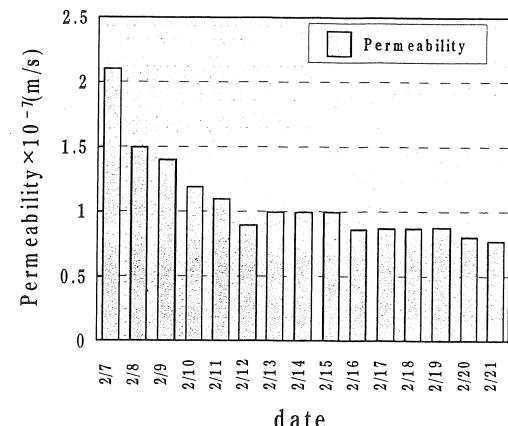


図4. 透水係数経日変化

3.2 泥炭層の微生物

泥炭の浄化作用の原因の一つとして考えられるのが、泥炭層内に生息する脱窒菌と呼ばれる細菌群である。脱窒菌は、好気性環境下では好気性呼吸を行い、嫌気性環境下では硝酸塩がある限り嫌気性呼吸の一つである硝酸呼吸を行う。

合併浄化槽による浄化処理によって、下水排水内の尿素・アンモニア (NH_3) 等の硝酸汚れはその酸化物としてもっとも単純な形である亜硝酸イオン (NO_2^-) や硝酸イオン (NO_3^-) の形まで分解される。これが泥炭層内の脱窒菌の硝酸呼吸によって、亜硝酸ガス (N_2O) を経て窒素 (N_2) まで還元される。以上のような過程で下水処理水の硝酸汚れは除去されると考えられる。⁽³⁾

写真4は地下およそ1.5[m]地点より採取した泥炭を

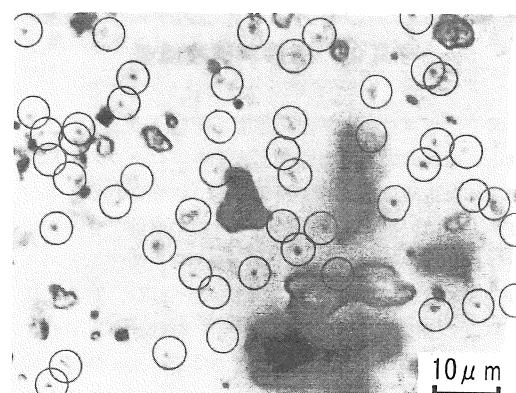


写真4. 微生物観察写真

純水で希釈し、透過型微分干渉顕微鏡で観察したものである。丸印の囲みがしてあるところに細菌類の動きを確認することができた。ビルケル・シェルク氏二重計算盤を用いてその個体数を確認したところ、 3.0×10^8 [個体/ml] が生息していることがわかった。光学顕微鏡の限界のため今回は形・種類等を特定するまでには至らなかったが、今後は培養実験等でその種類分けを行い次回の研究論文でその結果を報告する予定である。

3.3 泥炭層の浄化装置としての処理能力

泥炭層の浄化装置としての処理能力は図5から以下の手順で求められる。

穴あきパイプ③から泥炭層上面⑥までの水頭差を ΔH [m]、泥炭層平均厚さを L_{peat} [m]、泥炭層の透水係数を K [cm/s] とすると Darcy 流速 f [m/s] は、

$$f = K \frac{\Delta H}{L_{peat}} \quad (4)$$

ここで下水が散布される敷地面積を A_{site} [m²] とするとき、Darcy 浸透量 Q_d [m³/s] は、

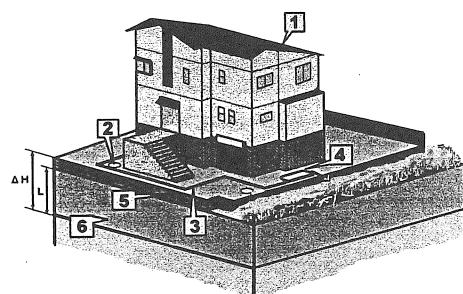
$$Q_d = A_{site} \cdot f \quad (5)$$

となる。よって浄化処理量 Q_d' [m³/day] は、

$$Q_d' = Q_d \times 60 \times 60 \times 24 \quad (6)$$

本システムではこの値は 5.0 [m³/day] である（図5 参照）。

Waterhead	: ΔH	= 5.0 [m]
Peat Layer	: L_{peat}	= 4.0 [m]
Darcy Flux	: f	= 1.2×10^{-7} [m/s]
Permeability	: K	= 9.6×10^{-8} [m/s]
Area of Site	: A	= 480 [m ²]
Daily Amount of Infiltration : $Q_d' = 5.0$ [m ³ /day]		



1. Ecolo-House 4. Septic Tank
2. 1.5[m] Well 5. Surface Soil
3. Slit Pipe 6. Peat Layer

図5. 処理装置配置図

4. 水質検査

4.1 水質サンプル採取装置

下水処理水の泥炭層内での浄化過程を調査するため

に、深さ方向の水質検査を行った。図6に水質サンプルの採取装置を示す。ボーリングマシン（カノ試錐機 KR100型）で直径80 [mm]、深さ2500 [mm] の測定用の井戸を掘り、1000 [mm], 1270 [mm], 2360 [mm] の測定点の各深さごとにクルミ炭で厚さ100 [mm] の水受けを作り、その上下にベントナイトで目止めを行った後、水受け内にストレーナー付きのゴムチューブを埋設した。真空ポンプを用いてガスタンク(1)を一旦真空状態にし、真空ポンプを切り離した後にガスタンク(1)内の真空のみの吸引力を用いて試料水の汲み上げを行う。また、ガスタンク(2)の上部に設けたニードルバルブを用いて吸引力の微調整を行い周囲の泥炭層を崩さぬよう非常にゆっくりとした速度で汲み上げが行えるようにした。

4.2 水質検査内容

水質検査は生活用井戸水、4.1の装置で汲み上げた試料水、及び下水処理水に関し、以下の項目に沿って行った。

4.2.1 飲料水省略試験

水道法に基づく「水質基準に関する省令（厚生省令第56号）」による①硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、②塩素イオン、③COD、④一般細菌、⑤大腸菌群、⑥pH値、⑦臭気、⑧味、⑨色度の9つの水質検査項目に関し、飲料水のみ沢保健所に委託した。

4.2.2 COD⁽⁴⁾

飲料水の水質基準では10 [ppm] 以下であることが定められている。本研究室では、過マンガン酸カリウム酸性法によって、その値を測定した。

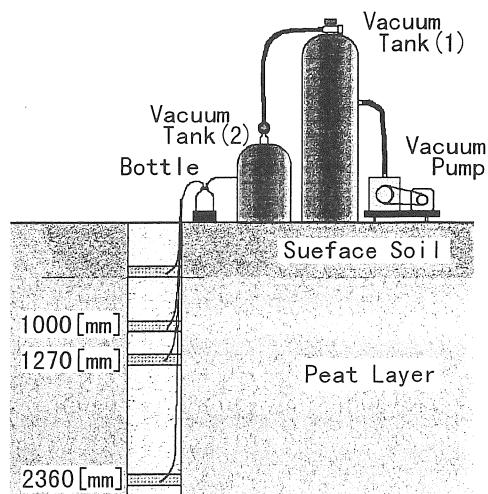


図6. 水質サンプル採取装置

4.2.3 硝酸イオン(NO_3^-)及び亜硝酸イオン(NO_2^-)⁽⁴⁾

生活排水においては人体より排出された蛋白質やアソニニアなどの窒素化合物の汚れが酸化され、最終的に硝酸イオン、亜硝酸イオンの状態になる。硝酸イオン亜硝酸イオンを合わせて10[ppm]以下であることが飲料水の水質基準となっている。本研究室ではイオンクロマトグラフ法によってその値を測定している。

4.3 水質検査結果

4.3.1 飲料水省略試験

表1に4.2.1で述べた飲料水省略試験の結果を示す。塩素イオン・CODに関しては基準値を遥かに下回っているのがわかる。そのほかの値においても、いずれも水質基準を満たしている。特に大腸菌・一般細菌が検出されていないことは、良好な結果だといえる。

表1 水質試験検査結果報告

項目	成績	基準
硝酸性窒素及び 亜硝酸性窒素	3. 7 [mg/l]	10 [mg/l]以下
塩素イオン	9. 1 [mg/l]	200 [mg/l]以下
COD	0. 9 [mg/l]	10 [mg/l]以下
一般細菌	0 [/ml]	100 [/ml]以下
大腸菌群	検出せず	検出されないこと
pH値	6. 1	5. 8~8. 6
臭気	異常なし	異常でないこと
味	異常なし	異常でないこと
色度	1 度	5度以下

4.3.2 淨化槽処理能力(COD)

図7に毎日の合併浄化槽の下水処理量を示す。縦軸に下水処理量[m^3]を、横軸に日付をとつてある。下水処理量の平均値は0.3[m^3]で横線で示してある。それに対応した毎日の処理能力をCODを用いて図8に示す。縦軸にはCOD濃度[ppm]、横軸には日付をとつ

ており、三角形でプロットされているのが下水処理水の値、丸形でプロットされているのが飲料水の値である。この二つのグラフから次のことがわかる。

i)合併浄化槽の平均下水処理量は、0.3[m^3/day]である。これは3.3で述べた泥炭層の浄化処理能力を下回っている。

ii)合併浄化槽の処理量の応答が、例えば9/30(図7で左から3本目)の応答が10/1(図8で左から5個目の点)にでているように、1~2日後に処理能力の低下または上昇という形で現れる。

iii)下水処理水のCODの値はおよそ9~17[ppm](平均12.4[ppm])であるが、飲料水のそれはいずれも0.6[ppm]以下(平均0.15[ppm])である。

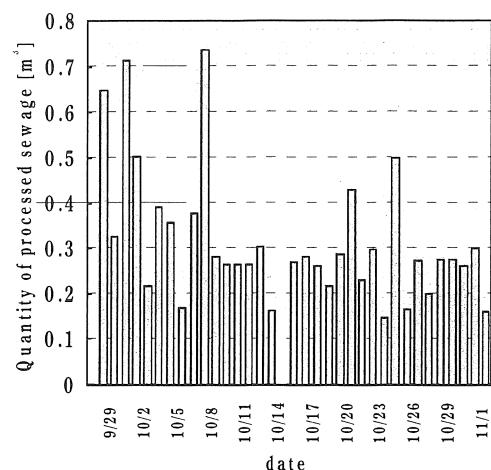


図7. 合併浄化槽の下水処理量

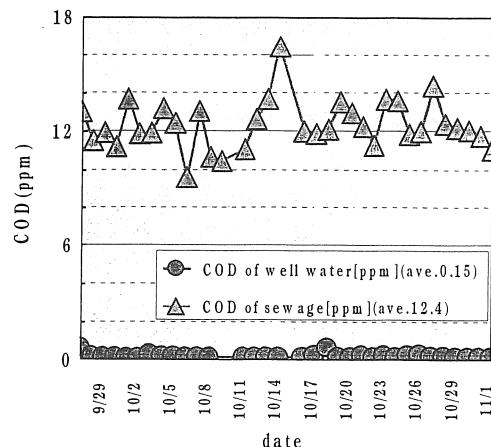


図8. COD経日変化

4.3.3 COD深さ方向変化

CODの深さ方向の変化のグラフを図9に示す。縦軸にCOD濃度[ppm]、横軸に深さ[mm]を示す。なお、便宜上横軸の一部(3000[mm]～14000[mm])を省略してある。また10[ppm]の所の太い横線は飲料水の水質基準値を表している。ここで、深さ0[mm]は浄化槽内の下水処理水のCODを、15000[mm]は飲料用の井戸水のそれを測定した。このグラフの傾向として、各深さ地点でいくらかのばらつきがあるものの全体的に下降傾向を見せてているのが判る。下水処理水のCODが14～20[ppm]であるのに対し、深さ2000[mm]を越えた時点では水質基準値である10[ppm]をほぼ下回っていることで泥炭の浄化能力の高さが伺える。

4.3.4 硝酸イオン及び亜硝酸イオン深さ方向変化

硝酸イオン及び亜硝酸イオンの深さ方向変化を図10に示す。縦軸がNO_x⁻濃度[ppm]、横軸が深さ[m]であり、測定点及び軸の条件は図9と同様である。また、菱形の点が亜硝酸イオン濃度、三角形の点が硝酸イオン濃度にそれぞれ対応している。亜硝酸イオンは、浄化槽から排出された時点で既に0.5[ppm]と非常に少なく泥炭層内及び飲料水からもほとんど検出できなかった。硝酸は、合併浄化槽内ではおよそ15[ppm]と、水質基準値を上回って測定されたが、泥炭層内では1[ppm]以下、飲料水では4[ppm]以下であった。

5. 結言

自然界的にいたる所に存在する泥炭層地域を対象とした水資源リサイクルシステムを提案し、実規模実験を行った結果、以下の結論が得られた。

- 1) 本研究における水資源リサイクルシステムで生活排水のCODは15[ppm]から0.15[ppm]まで減少した。又、多数存在していた一般細菌及び大腸菌も検出されなくなった。下水処理水は、飲料水源として、再利用が可能である。
- 2) 泥炭層内の細菌群によって人体に有害な硝酸イオン及び亜硝酸イオンは除去可能である。このことから泥炭層には浄化能力があるといえる。

謝辞

本研究の一部は、平成7年度、米沢市地下水利用対策協議会、三機工業株式会社、文部省科研費国際学術研究07044118の助成による。又、水質分析には米沢保健所の青木四郎次氏、米沢浄水管理センターの山口正廣氏の指導によったことを記して深謝する。

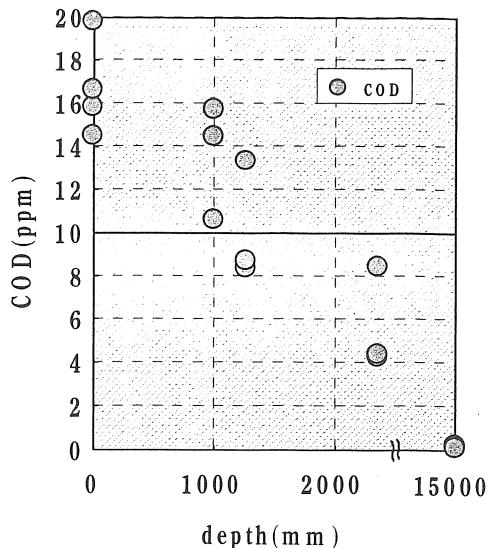


図9. COD深さ方向変化
(過マンガン酸カリウム酸性法による)

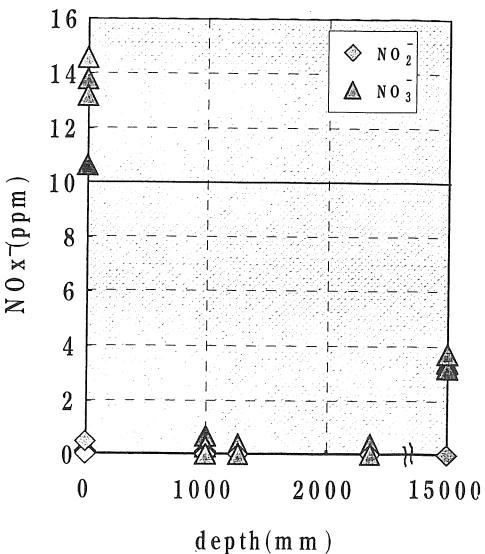


図10. NO_x深さ方向変化
(イオンクロマトグラフ法による)

参考文献

- (1) 梅宮・林 雪国エコロハウスの基礎研究
平成6年度日本太陽エネルギー学会講演論文集No.52
- (2) 小島貞男・三村秀一・菅野明男 上水・井戸水の分析 講談社
- (3) スタニエ他共著 高橋 甫他共訳 微生物学(下) 倍風館
- (4) 厚生省生活衛生局水道環境部監修 上水試験方法(1993) 日本水道協会