

BOD測定用植種源としての土壤ケン濁液のBODについて

片岡 功・片岡 一郎

(農学部応用分析化学研究室)

On the BOD of the Soil Suspension as a Source of Microorganisms for the Determination of BOD

Isao KATAOKA and Ichiro KATAOKA

Laboratory of Applied Analytical Chemistry, Faculty of Agriculture

Abstract : Soil suspensions as a source of microorganisms for the determination of BOD were prepared. 500 ml of pH 7.2-buffer solution being used in American standard exp. method was added to 200 g of moist or air-dried soil, the suspensions were also neutralized to pH 7.2 with $\text{IN-Na}_2\text{CO}_3$ solution owing to soil buffer action, and then 1.5 l of the buffer solution above described was added again to the suspension. The suspension was shaken for 10 minutes with a shaking machine, poured into 2 l cylinder, stirred with a glass rod with a stopper at the end of it, stood for 30 minutes. Then the suspension in the part of 0~30 cm of cylinder in depth was taken with a cyphon, thus about 1.7 l of the soil suspension (pH 7.2) was prepared. The suspension obtained was diluted with the buffer solution (pH 7.2) as occasion demands of the determination of BOD.

The original or diluted suspension was poured into 300 ml oxygen-determining bottle with a cyphone. By the coagulating method with alum, 10~30 ml of saturated alum solution and 1~2 ml of concentrated ammonia were added into the bottle successively with pipettes, and after coagulating the suspension, the supernatant liquid was taken with a cyphone, and the liquid was poured into 100 ml of oxygen-determining bottle, then DO of the liquid was determined with the modification (sodium azide used) of Winkler method. DO of the suspension in another bottle was determined after five days' incubation at 20°C with the same procedure above described.

Soils used for preparing suspensions were as follows. Surface soils of grassy places, cultivated fields, forests, and river and pond muds. Soils were used in moist or air-dried condition.

Total residue and the amount of carbon in 1 l of the suspension were determined, the ratio of BOD to carbon (ppm) in the suspension was calculated.

Thus, the relation between the kind of soils in various different plantations and the BOD of the suspension, and the effects of drying soils on BOD were examined.

As the BOD calculated showed the higher value in proportion as the diluting ratio of the suspension increases, owing to the formation of NO_2^- and NO_3^- , the BOD in the cases of the smaller diluting ratio from within the optimum oxygen consumption ratio (40~90%) for five days were selected.

緒 言

土壤はBOD測定用の検水に対する植種源の一つとして選ばれる。本報は植種源としての土壤ケン濁液の調製、BODの測定法について検討し、立地、植生を異にする土壤を選び、これらの土壤ケン濁液のBODを測定し、土壤の種類との関連を調べたものである。

供 試 土 壤 (Soil Sample)

草生地、畑、森林、水田、火山灰土の表土および沈泥を供試した。野外で採取し、できるだけ大きな礫をのぞいた湿土 (moist soil) を風乾後、2 mm の篩で礫を除いて風乾細土 (air-dried fine soil) を調製した。なお、Table 2 には、風乾細土を調製後、保存された期間をも併記した。

草生地 (Grassy Place)**No. 1 Monobe loam**

高知県南国市物部。高知大学農学部内の埋立草生地の表土で、旧軍隊の飛行場として埋立てられ、草地状態となっていたものを、13年前、栽培試験開始に際して、試験予定区域の各所から土壌を無作為に採取混和し、風乾細土として13年間保存してきたもの。壤土。

No. 2 Monobe clay loam

No. 1の試験地の西端にあり、終戦前より現在に至るまで草生状態にあるものの表土。腐植を含む埴壤土。

No. 3 Matsunomoto sandy loam

高知市神田松の本。3～4年前に埋立し、草生状態で現在に至るものの表土。風乾原土は礫36%で、礫に頗る富むが、風乾細土は砂壤土。

No. 4 Joyamacho fine clay loam

高知市城山町。神田川堤防斜面。15年前に堤防をつくり、以後草生状態にあるものの表土。腐植を含む細埴壤土。

畑 (Cultivated field)**No. 51 Monobe clay loam**

No. 1と同一の試験地域内東端の土壌。地力上昇の目的で堆肥多量、化学肥料多量施用のもとに甘藷、稗麦を13年間連続栽培してきたものの表土で、畑土壌としては地力が高くなっている。腐植を含む細埴壤土。

No. 52 Monobe loam

No. 1と同一の試験地域内南部の土壌。堆肥を施用せず、化学肥料のみで甘藷、稗麦を13年間連続栽培してきたものの表土で、土壌を有機質的に瘠薄化させてきたもの。壤土。

No. 53 Yanagare clay loam

高知県安芸市八流。海岸段丘面（標高約50 m）の畑の表土。風乾原土は礫19%で礫に富むが、風乾細土は腐植を含む埴壤土。11月～5月はビニルハウスとしてナス栽培。

No. 54 Nagano fine clay

高知県香美郡香北町永野。物部川段丘に接する低山地緩斜面の表土。風乾原土は礫36%で礫に頗る富むが、風乾細土は腐植を含む細埴土。ニンジン栽培。

森林 (Forest)**No. 101 Ashizuri mull**

高知県土佐清水市足摺岬天狗山麓。タブ、ホルトノキ、ツバキなどの常緑広葉樹林下の軟質腐植（ムル）。西南日本の温暖多雨な海岸地方の常緑広葉樹林下に行なわれる腐植化作用¹⁰⁾で、リグニンを分解する放線菌のためセルローズ、リグニンの分解が円満に進み、落葉や小枝は1～2年で分解しつくされるから、H層はほとんど発達せず、半ば分解したこれらのH層の下に鉍質土とよく混ざった軽い粒団の発達した軟質腐植の層がつくられる。この腐植は分解されやすいために森林を開墾すると初年度から高い生産をあげる。こんな例は非常に稀で、足摺岬付近に知られているだけである。試料はこの腐植層を採取して風乾状態となし、11年間保存してきたもの。腐植土（細埴土）。

No. 102 Odamiyama clay

愛媛県上浮穴郡小田町小田深山。山地南東斜面。谷に近く60年生の杉の造林試験地の表土。強度の間伐をなし、日光は地面に若干あたる。杉の生長は良く、土壌水分は適潤状態。風乾原土は礫30%で礫に頗る富むが、風乾細土は腐植に頗る富む埴土。

No. 103 Kuma clay

愛媛県上浮穴郡久万町。山地斜面。小さな谷ぞいの杉の造林地の表土。50年生の杉が生育し、日光はあまり通らぬ。土壤水分は適潤。風乾原土は礫86%で礫土であるが、風乾細土は腐植に頗る富む埴土。

No.104 Yasima fine clay

高松市屋島台地上の松林表土。松林は一般に過乾であるが、この土壤は適潤であり、風乾細土は腐植に頗る富む細埴土。

No.105 Yakushido fine clay

高知市上本宮町。薬師堂の丘陵雑木林表土。風乾原土は礫31%で礫に頗る富むが、風乾細土は腐植に頗る富む細埴土。

水田 (Rice Field)

No.201 Hamakaida clay

高知県南国市浜改田の水田表土、水稻栽培。腐植に富む埴土。

No.202 Hisaeda fine clay loam

高知県南国市久枝の水田表土、水稻栽培。腐植を含む細埴壤土。

No.203 Tarumi fine clay loam

高知市絶海の水田表土、水稻栽培。この地区は池があり、住時、湿地帯であったが排水施設のため乾田化した。腐植を含む細埴壤土。

池泥, 川泥 (Pond Mud, River Mud)

No.301 Maruike fine clay

南国市里改田丸池。池泥。腐植に富む細埴土。

No.302 Enokuchigawa fine clay loam

高知市江の口川。高坂橋付近の川泥。5年位前まではパルプ会社の廃液と都市下水のため、川水のBODは数100ppmという高い値を示したが、パルプ会社が閉鎖し、最近では10ppm前後に低下している。風乾泥土(細土)は腐植を含む細埴壤土。

No.303 Funairegawa fine sandy loam

高知市舟戸。舟入川川泥。風乾泥土(細土)は腐植を含む細砂壤土。

火山灰土 (Volcanic Ash Soil)

No.1001 Kataji fine clay

高知県土佐山田町片地宮の口。物部川段丘に接する低山地斜面。やや不純(角礫を含む)な黒色火山灰土(黒音地, Kuroonji)。ササの生育する未耕地表土。風乾細土は腐植に頗る富む細埴土。

No.1002 Jinyama fine clay

高知県南国市陣山。黒色火山灰土(黒音地, Kuroonji)と非火山灰の沖積土が混じた土壤表土。風乾細土は腐植に富む細埴土。平坦部大根畑。

No.1003 Yotsukaido fine clay

千葉県四街道町。平坦地(やや起伏がある)。関東ローム表土(黒ボクがかかっている)。腐植に富む細埴土。落花生畑。

No.1004 Nishigahara fine clay

東京都北区西ヶ原。関東ローム表土。腐植に富む細埴土。

以上の土壤の風乾細土の性質を Table 1 に示す。Table 1 において、pH (H₂O) は風乾細土に 2.5 倍の水を加えて振りませ、ガラス電極によって測定、炭素(carbon)、腐植(humus)は腐植炭素簡易定量法(Tiulin法)¹⁾で炭素を分析し、1.724 を乗じて腐植を求め、機械的組成(mechanical composition)は野外での触感と分析によって分類された土性が比較的一致しやすい

Table 1. *pH, humus, color and mechanical*

Sample	Air-dried fine soil			Soil color (Translation of moist)
	pH (H ₂ O)	carbon (%)	humus (%)	
No. 1	4.90	0.64	1.11	dark grayish yellow
No. 2	6.20	1.54	2.65	brownish black
No. 3	6.38	0.36	0.63	dark reddish brown
No. 4	6.10	1.98	3.41	brownish black
No. 51	5.42	1.72	2.96	brownish black
No. 52	4.85	0.95	1.64	brownish black
No. 53	6.45	2.01	3.46	brown
No. 54	5.71	1.92	3.31	dark brown
No. 101	5.93	11.99	20.66	black
No. 102	5.20	8.14	14.03	brownish black
No. 103	6.11	8.73	15.04	brownish black
No. 104	4.03	6.08	10.47	brownish black
No. 105	4.59	8.57	14.77	dark reddish brown
No. 201	6.18	3.73	6.43	brownish gray
No. 202	5.26	1.81	3.12	dark grayish yellow
No. 203	5.20	1.73	2.98	brownish black
No. 301	5.20	5.11	8.80	yellowish gray
No. 302	6.78	2.53	4.36	black
No. 303	6.00	1.79	3.08	black
No. 1001	4.97	8.84	15.24	black
No. 1002	6.90	4.39	7.57	black
No. 1003	7.25	3.90	6.97	very dark reddish brown
No. 1004	5.95	3.62	6.24	brownish black

日本農学会法（淘汰分析）の便法として、土壌の予備処理にシュウ酸、カセイソーダおよび過酸化水素を用いる方法²⁾によった。この結果、粗砂 (coarse sand, 直径 2~0.25 mm), 細砂 (fine sand, 0.25~0.05 mm), 微砂 (silt, 0.05~0.01 mm), 粘土 (clay, 0.01 mm 以下) を求め、粘土 50% 以上を植土 (clay, 略号 C), 50~37.5% を埴壤土 (clay loam, CL), 37.5~25% を壤土 (loam, L), 25~12.5% を砂埴土 (sandy loam, SL), 12.5% 以下を砂土 (sand, S), 砂の 2/3 以上が細砂と微砂からなるときは「細」(fine, F) の字を冠することは農学会法のとおりであるが、野外において指間でこねた触感との関係³⁾は、適当な湿土を用いると、[S] はほとんど砂のみの感じ、[SL] は大部分 (7~8 割) が砂の感じ、[L] は半分位、砂の感じ、[CL] はわずかに砂を感じ (2~3 割), [C] はほとんど粗い感じがないとされる。土壌の色 (Soil color) は Munsell notation に相当する土色名 (Translation of color names) で示した⁴⁾。風乾細土について、腐植 20% 以上は「腐植土」、20~10% は「頗る富む」、10~5% は「富む」、5~2% は「含む」⁵⁾であるが、野外³⁾では腐植土は真黒で極めて軽ショウ、「頗る富む」は著しく黒色、「富む」は黒色、「含む」は暗色の感をあたえる。

composition of soils

Munsel notation)	Mechanical composition of air-dried fine soils (after Society Agr., Japan)				
	coarse sand (%)	fine sand (%)	silt (%)	clay (%)	texture
air-dried					
dark grayish yellow	31.6	28.5	10.5	29.4	L
dark grayish yellow	29.5	22.5	5.1	42.9	CL
dark grayish yellow	44.8	33.5	2.0	19.7	SL
dull yellowish brown	17.9	20.5	17.4	44.2	FCL
grayish yellow	18.5	31.4	11.2	38.9	FCL
grayish yellow	24.1	32.5	11.5	31.9	L
dull yellowish brown	20.7	23.5	12.3	43.5	CL
dull yellowish brown	14.7	13.3	16.4	55.6	FC
brownish black	3.4	6.7	13.0	76.9	FC
dull yellowish brown	18.4	2.1	6.1	73.4	C
grayish yellow brown	20.6	3.3	10.3	65.8	C
grayish olive	7.7	4.9	12.8	74.6	FC
brown	5.9	8.2	9.8	76.6	FC
dark grayish yellow	16.6	13.2	11.3	58.9	C
grayish yellow	10.0	32.1	16.8	41.1	FCL
grayish yellow	14.2	30.8	12.6	42.4	FCL
yellowish gray	0.2	1.0	20.1	78.7	FC
gray	0.7	32.1	25.9	41.3	FCL
yellowish gray	4.7	65.2	7.2	22.9	FSL
brownish black	6.7	6.5	11.3	75.5	FC
brown	9.0	13.5	16.9	60.6	FC
brown	5.6	16.5	7.8	70.1	FC
brown	4.2	11.5	9.6	74.7	FC

実験方法

土壤ケン濁液 (Soil Suspension)

BOD測定用の植種源とする土壤ケン濁液の作製については、「土壤(植物の生育している土壤)約200gを水2lに加えてかき混ぜた後、その上澄液を用いる」⁵⁾、「畑その他農作物あるいは植物が繁茂している場所の表層の土壤100~200g程度を希釈水1lにケン濁させて約30分静置して、その上澄液を用いる」⁹⁾とされる。前者のように、土壤ケン濁液を水でつくる場合として、次のようにした。

湿土あるいは風乾細土200gをポリエチレン製容器にとり、水2lを加え(1+10)、密栓して振とう器で10分間振とうした後、2lのシリンダーによく混ぜながらうつつして2lとする(2lとなれば粗大部は全量とる必要はない)。シリンダーには2lの目盛の最上部とそれより30cm下のところに目印をつけ、ゴム栓つきガラス棒で内容を上下に混和の後、30分静置し、サイフォンで0~30cmの部分をとる(通常1.7lとれる)。これを土壤ケン濁液と記す。

わが国の土壤はpH(H₂O)7~4がほとんどで、この方法でつくった土壤ケン濁液のpHは供試土壤のpHに支配され、微生物の増殖にも、粘土の分散にも影響する。

次に希釈水としてKH₂PO₄、K₂HPO₄、Na₂HPO₄およびNH₄ClよりなるpH7.2の緩衝液

に、 $MgSO_4$ 、 $CaCl_2$ および $FeCl_3$ を加えて曝気し、pH 7.2 に調製した米国標準試験法希釈水⁷⁾——これを標準試験法希釈水と略記する——を用いて土壤ケン濁液を希釈すると、土壤の緩衝能と希釈水のそれとが競合する。いま、No. 51 の植塩土（腐植含量 2.37%）を用いて土壤ケン濁液をつくり、標準試験法希釈水とまぜあわせた場合の pH の変化を示すと次のとおりである。

標準試験法希釈水 300 ml pH 7.20

土壤ケン濁液 (pH 5.45) の

添加量累計

10 ml	pH 7.20
20	7.10
50	6.90
100	6.62
300	6.23

(希釈倍数 $F=2$ に該当)

土壤の緩衝能は粘土、腐植によるものであるから、埴土、腐植質土では希釈水の緩衝効果もっと小さくなる。なお、土壤ケン濁液作成のとき、水の代わりに土壤に標準試験法希釈水を加えても土壤の緩衝能の影響をうける。

土壤ケン濁液 (pH 7.2) (Soil Suspension, pH 7.2) の作成 (操作 1)

「土壤 200 g に 500 ml の標準試験法希釈水を加え、よくかきまぜながら、 $1N-Na_2CO_3$ を添加して pH 7.2 とし (土壤に吸着されている置換性 H^+ を Na^+ で置換浸出し、 OH^- で中和させていくために、十分混和して pH 7.2 におちつく点とする。ここで十分に反応させないと後の 10 分振トウ後 pH は再び下る)、続いて標準試験法希釈水 1.5 l を加え、土壤ケン濁液作製と同様、10 分振トウ、30 分静置後サイフォン採取し、最終的な pH を確めたものを土壤ケン濁液 (pH 7.2) と記す。」(以上操作 1)

ミョウバン凝集沈殿法 (Coagulation Method with Alum)

土壤ケン濁液 (pH 7.2) さらには標準試験法希釈水による希釈ケン濁液をフランビンに入れ、0 日および 5 日後の溶存酸素をウインクラ法で定量するとき、ヨウ素滴定の終点におけるヨウ素——澱粉の変色がケン濁する粘土のためにわかりにくく、かつ、 $MnO(OH)_2$ の沈殿を H_2SO_4 酸性にして溶解するとき、土壤の酸化鉄、オキシ水酸化鉄などの一部が溶解して Fe^{3+} を生じ (水田状態におかれたものの湿土であれば Fe^{2+} が溶解する)、 $Na_2S_2O_3$ の滴定値に誤差を生ずる。このためにケン濁部を除いて溶存酸素を測定するウインクラ——ミョウバン凝集沈殿法⁷⁾ (凝集用ビンの容量は 1 l) に準じ、2 個の 1 l ビンにケン濁液を入れ、5 日目は 5 日間培養した後に、0 日目は直ちに、ミョウバン、アンモニアでケン濁部を凝集沈降させ、上澄を 300 ml フランビンにサイフォンで分注し、溶存酸素を定量することを試みたが、1 l ビンをフランビンに代用することは、ケン濁液の多量を要し、ビンの容量が大きいために定温器に多数を入れることができないこと、300 ml のフランビンに対して、ガラス内壁の面積⁸⁾ が相異なることなどに問題があり、スケールを次のように 1/3 に縮小した。

土壤ケン濁液 (pH 7.2) の培養と溶存酸素の定量 (操作 2)

「土壤ケン濁液 (pH 7.2) あるいは標準試験法希釈水による希釈ケン濁液をサイフォンで 2 個の 300 ml フランビンにうつして 0 日用、5 日用となし、0 日用は直ちに飽和ミョウバン液 10~30 ml (ケン濁土壌の量により加減)、conc. NH_4OH 1~2 ml を加え、密栓混和して静置し、ケン濁部を沈降させ、上澄液を小型サイフォンで 100 ml フランビン (ビン底にサイフォンの先端を接

する)に分注し、ウインクラージ化ナトリウム変法で溶存酸素を定量し(300 ml フランビンでの酸素定量の場合に対して、試薬の液量を少なくする)、5日後も同様にして定量する。(以上操作2)

(操作2)においては、300 ml フランビンへのケン濁液の分注と、100 ml フランビンへの上澄液の分注と、2回の分注操作を伴う。

いま、曝気した多量の標準試験法希釈水(盛夏に曝気)を標本ビン用の大型背高円筒に入れ、大気に接する表面水の採取をさせて、サイフォンの先端をビン底に接し、他方の先端は300 ml フランビンの底に接し、300 ml フランビン9個に次々と分注した後、再び100 mlのフランビン(1個の300 ml フランビンから2個の100 ml フランビンに分注して滴定値を平均)にサイフォンで分注し、溶存酸素(DO)を定量した場合の変動は、DO (mg/l) 平均値(M) 7.03, 標準偏差(σ) 0.075, 変動率($\frac{\sigma}{M} \times 100$) 1.07であった。

次に、埴壤土を用い、土壤ケン濁液(pH 7.2)の標準試験法希釈水による希釈倍数 $F=7.5$ の希釈ケン濁液を多量つくり、大型円筒→300 ml フランビン(5日培養)→100 ml フランビン(DO測定)および0日のDOを測定した場合の変動は、BOD平均36.2, 標準偏差1.13, 変動率3.1%($F=7.5$ における酸素消費率平均63.9%)であった。

土壤ケン濁液の蒸発残留物および炭素量

上記の変動は同一ケン濁液より分注した場合のものであるが、1回ごとにケン濁液を作成した場合の変動は、ケン濁液中の蒸発残留物および炭素量の変動によって目安をつけることができる。

たとえば、埴壤土について土壤ケン濁液をつくり、50 mlを採取して蒸発乾固し、その値を20倍して蒸発残留物(g/l)を求め、蒸発残留物については、風乾細土の場合と同様に炭素を分析し、20倍して(mg/l)を求め、土壤ケン濁液を9回くりかえし作製して、同様に蒸発残留物および炭素量を求めた場合の変動は、次のとおりであった。

	蒸発残留物 (g/l)	炭素 (mg/l)
平均	12.12	372.8
標準偏差	0.26	3.69
変動率(%)	2.15	0.99

変動の原因は混和供試土壌の均一度、ケン濁液の30 cm間の部分の採取時の温度による相違(沈降速度)およびサイフォン採取において30 cmの下底に近ずいた場合の粗大沈底部の若干の攪乱吸上げなどによるものと考えられる。なお、ケン濁液の分散はpHによって相違し、ケイ酸質粘土ではpH上昇により、アルミナ質粘土ではpHの低下により分散が増大する。上記の土壤ケン濁液はpH 5.45であり、土壤ケン濁液(pH 7.2)にすると、3回くりかえし作製の平均で、蒸発残留物は16.20 (g/l)(希釈水中の無機塩の分が0.12 g含まれる)、炭素は434.4 (mg/l)と増大した。ケン濁液のpHの相違は微生物の増殖のみならず、ケン濁液の蒸発残留物、炭素量の増減の点でもBOD値に影響する。

土壤ケン濁液の作製とBOD測定法

上記の(操作1)によって土壤ケン濁液(pH 7.2)を作製し、あるいは標準試験法希釈水によって希釈ケン濁液を作製し、(操作2)によってBODを測定した。

なお、DO測定については、ウインクラージ化ナトリウム変法を用いた。

土壤ケン濁液の NO_2^- および NO_3^- の定量

土壤ケン濁液の0日および5日培養後について、ミョウバン、アンモニア添加凝集液の口液を

PH 6~8 となした後、 NO_2^- は α -ナフチルアミンとスルファニル酸によって発色させ¹²⁾、 NO_3^- は加藤らの方法で発色させ、¹²⁾ 吸光光度法で定量した。

BOD—炭素比 (BOD—Carbon Ratio)

湿土と風乾細土では乾土効果によって BOD 値に対する影響が異なると考えられる。湿ったままの土は、その条件下でゆるされるだけの微生物が生息していて、一応有機物の分解と微生物の繁殖がつり合っているが、土を乾かすと、微生物を食って生きていた原生動物や、乾燥に弱い微生物は死滅し、乾かした土に水を加えて畑の状態あるいは水田状態に保っておくと、生き残った微生物は生存競争の相手が少なくなっているの、盛んに繁殖して活動をはじめ、乾燥によって死んだ微生物の遺体や、分解されやすくなった土の中の腐植を分解する¹¹⁾。このいわゆる「乾土効果」は分解されやすい未熟な腐植によるものであるから、森林の土壌や開拓地の土壌は畑の土壌に比べて、また水田の土壌は畑の土壌に比べて、また湿田の土壌は乾田の土壌に比べて乾土効果が高い。したがって、湿土および風乾細土、さらには植性を異にする土壌の腐植の BOD に対する効率を考えるのに、土壌ケン濁液の BOD に対する炭素 (mg/l) の比率を求めた。

実験結果および考察

供試土壌は草地 4 点、畑 4 点、森林 5 点、水田 3 点、池および川泥 3 点、火山灰表土 4 点の 23 点であった。風乾細土の状態で作製された試料は全試料 23 点で、湿土のまま供試されたものは 13 点であった。水田土壌および沈泥は 2 価の鉄を含むため湿土は供試せず、風乾細土とした。湿土を風乾するのに数日を要し、均一に風乾してから礫を除き風乾細土をつくったが、それからの保存期間の短いものは 2 日後に供試し、長いものは西ヶ原関東ルームのように 22 年間保存のものもある。供試土壌の pH は 22 点が 4.03~6.90 で、No. 1003 のみ 7.25 を示した。風乾細土の腐植は 0.36~20.66 % で、最高は No. 101 の足摺岬のムルである。森林土壌は 10.47~20.66% と総じて腐植含量が高い。土性は砂壤土はわずか 2 点 No. 3, (No. 303) で、壤土 1 点、埴土 7 点、埴土 12 点で、火山灰土 (No. 1001~1004) は全て埴土である。

土壌 200 g に標準試験法希釈水 2 l を加え (1+10), 10 分振とうして 2 l シリンダーの 0~30 cm 部位から 30 分静置後採取した土壌ケン濁液 (pH 7.2) (原液) の蒸発残留物 (T.R, g/l) は湿土では 2.88 (No. 102)~14.16 (No. 51), 風乾細土では 1.71 (No. 302)~31.74 (No. 104) であり、同一土壌では湿土より風乾細土の方が T.R が大きいのは湿土が礫、水分を含むから当然である。土壌ケン濁液 (pH 7.2) (原液) の carbon (ppm) は湿土を供試したとき、69.0 (No. 3)~792.4 (No. 104), 風乾細土を供試したとき、75.4 (No. 302)~1113.0 (No. 104) で、同一土壌では湿土の方が礫、水分を含むから風乾細土の場合よりも低い。No. 101 の足摺岬ムルはケン濁液の分散が悪く (耐水性粒団よりなる), T.R が 2.74 と低いにもかかわらず、Carbon (ppm) は 535.6 と高い値を示した。風乾細土の土性と T.R との関係については、SL 2 点 4.38~5.74 平均 5.06, L 2 点 10.29~14.08 平均 12.19, CL 7 点 1.71~17.28 平均 11.71, C 12 点 2.74~31.74, 平均 9.40 であり、SL と埴質土壌 (C, CL) の間には後者の T.R が大きいことはわかるが、T.R は SL < L < CL < C の順には必ずしもならなかった。このことは、機械的組成を求めた土壌処理が、シュウ酸、カセイソーダ、過酸化水素処理など比較的激烈な条件で腐植を破壊し、粘土を接着する鉄分を除き、強アルカリ性下で粘土を分散除去して、砂分を求めたものであるのに対して、ケン濁液の作製では、土壌に何等予備処理をすることなく、できるだけ自然状態のままで、単に 10 分間振とうし、静置して、pH 7.2 で分散したケン濁部を供試したため、上記の土性と T.R との間に明らかな関係がみられなかったものと考えられる。次に風乾細土で作製した土壌ケン濁液 (pH 7.2) (原液) の carbon (ppm) は、風乾細土の腐植について「腐植土」(腐植 20% 以上) 1 点で 535.6 (No.

101), 「腐植に頗る富む」(20~10%) 5点で 288.6~1113.0 平均654.8, 「腐植に富む」(10~5%) 5点で 234.4~973.8 平均540.4, 「腐植を含む」(5~2%) 9点で 75.4~490.2 平均292.1, 腐植2%以下の3点で 122.2~290.5 平均199.4となり, 腐植土の No. 101 は耐水性粒団の腐植よりなり, 単に水中で10分間振とうしたのみでは T.R (g/l) が極端に低く 2.74 であったから, carbon (ppm) 535.6はむしろ大きいとみるべきであり, 総じてケン濁液の carbon (ppm) の多少に対し風乾細土の腐植の多少がある程度の目安になる。

Table 2のBOD値は土壤ケン濁液(pH 7.2)の原液(希釈倍数 $F=1$)のBOD値,あるいは希釈液の測定値に希釈倍数を乗じて原液に換算したBOD値である。このようにしてえたBOD値は, 20°C, 5日間の酸素消費率40~90%の間のものから選んだものであるが, 土壤ケン濁液の培養中に, 多数の試料が NO_2^- さらには NO_3^- の生成を示した。これらの生成は希釈倍数(F)が増大しても F に逆比例して減少せず, F の大きい液の方が, 含まれる土壤の割合からいって, かえって高いことが多い。これと関連して5日間の酸素消費率も, 40~90%の間に入るものでも, F の増大に逆比例して減少せず, そのために F を乗じてケン濁液原液($F=1$)に換算して求めたBOD値は, 乗じた F がひびいて, F の大きいケン濁液よりのBODが大きくなるという傾向を示した。したがって, 酸素消費率40~90%の間のもので, F の低いものよりのBOD値を採用した。

土壤ケン濁液原液のBODは湿土を供試した場合, 2.5 (No. 1002) ~31.2 (No. 104), 13点平均9.5で, 風乾細土を供試した場合, 10.7 (No. 3) 143.7 (No. 105), 23点 平均35.2を示した。

植生別にみると, 草地土壤では, 湿土を供試した場合, BOD値は3.1~12.3, 平均6.6であり, 風乾細土を供試した場合10.7~24.4, 平均21.6を示した。風乾細土は礫を除き, 水分も湿土よりは少ないのであるから, 風乾細土の方がBOD値が高いのは当然であるので, BOD/carbon比によって, 湿土と風乾細土の腐植のBOD値に対する影響を比較した。BOD/carbon比は湿土を供試した場合0.018~0.063, 平均0.042, 風乾細土を供試した場合, 0.054~0.130, 平均0.099であり, 同一の土壤の湿土によるBOD/carbon比を m とし, 風乾細土によるBOD/carbon比を d とすると, $d/m=1.96\sim 3.00$, 平均2.34と高い。このことは「風乾効果」が草地土壤にもあらわれていることを示している。なお, No. 1の13年の長期間風乾状態に保存されたものでも, 予想外に高い比率を示した。

畑土壤では湿土を供試した場合, BOD値は3.1~18.0, 平均7.6, 風乾細土を供試した場合, 6.6~23.9, 平均15.6で, BOD/carbon比は湿土を供試した場合, 0.013~0.043, 平均0.027, 風乾細土を供試した場合, 0.026~0.068, 平均0.049, $d/m=1.58\sim 2.00$, 平均1.84と高い。畑土壤が草地土壤に対して, BOD/carbon比が低く, d/m 比も草地土壤が2.34, 畑土壤が1.84と草地土壤に対して低く, すなわち「乾土効果」が低いのは, 草地と異り, 耕耘によって乾湿がくりかえされ, 常時「乾土効果」があらわれているためであろう。なお No. 51は堆肥13年連用土壤, No. 52は13年無堆肥栽培の土壤で, No. 52の方が瘠薄化し, No. 51の方がBOD値, BOD/carbon比, d/m 比(「乾土効果」)共に高い。

森林土壤では湿土を供試した場合, BOD値は7.0~21.9, 平均17.6, 風乾細土を供試した場合, 22.4~143.7, 平均80.0で, BOD/carbon比は湿土を供試した場合, 0.025~0.065, 平均0.040, 風乾細土を供試した場合, 0.063~0.223, 平均0.130, $d/m=1.62\sim 3.43$, 平均2.86を示し, BOD, BOD/carbon比, d/m 比共に極めて高い。No. 101(足摺ムル)は耐水性粒団のため, T.Rが低く, BOD値も97.1であったが, BOD/carbon比は0.181で11年間と長期保存した試料であるが, なおかつ高い値を示した。

水田土壤では, 何れも風乾細土を供試したが, BOD値は23.4~38.9, 平均31.5, BOD/carbon比は0.048~0.153, 平均0.103で森林土壤に次いでいる。

池、川泥でも、風乾細土のみであるが、BOD値は28.0~48.7, 平均37.1, BOD/carbon比は0.087~0.161, 平均0.298で森林風乾細土を上まわって最高であった。特異なのは No. 302の江の口川泥で、pH 7.2での粘土の分散が低いいためBOD値は48.7であったが、BOD/carbon比は0.646と最高であった。

火山灰表土では、湿土を供試した場合、BOD値は1.5および2.5 平均2.0, 風乾細土を供試した場合、7.5~23.8, 平均13.9で、BOD/carbon比は湿土を供試した場合、0.006および0.009, 平均0.008, 風乾細土を供試した場合、0.011~0.026, 平均0.020, d/m=2.22および4.00, 平均3.11であった。以上の結果を平均によってまとめると、次のとおりである。

	Soil suspension				
	moist soils used		air-dried soils used		
	BOD (mean)	BOD/carbon (m) (mean)	BOD (mean)	BOD/carbon (d) (mean)	(d/m)
grassy places	6.6	0.042	21.6	0.099	2.34
cultivated fields	7.6	0.027	15.6	0.049	1.84
forest soils	17.6	0.040	80.0	0.130	2.86
rice fields	—	—	31.5	0.103	—
pond, river muds	—	—	37.1	0.298	—
volcanic ash soils	2.0	0.008	13.9	0.020	3.11

以上の結果、森林土壌は、日光の透過、通気が悪く、水分の蒸発が少なく、常時乾土効果の機会が少なく、腐植の集積が多く、土壌よりの収穫物による有機物の略脱も少ないので、全試料中、最高の腐植% (風乾細土), carbon (ppm) (土壌ケン濁液), BOD値, BOD/carbon比, d/m比を示した。水田、沈泥は腐植含量が森林ほど高くないから、BOD値は、草地、畑土壌と森林との中間になる。これらは、湿土を供試していないが、乾土効果は高いものと思われる。なお、風乾細土のBOD/carbon比は最高を示した。火山灰土は腐植含量の割合に、BOD値が低く、BOD/carbon比が低い。

要 約

1) BOD測定用の植種源としての土壌ケン濁液の作製, BODの測定について検討した。

2) 土壌 200 g 対標準試験法希釈水 (pH 7.2) 2 l (1対10) の液を作製したが、供試土壌はほとんど酸性土壌であり、その緩衝能が強いため、まず標準試験法希釈水 (pH 7.2) の一部を土壌に加え、さらに Na_2CO_3 液を添加して pH (7.2) となし、残量の標準試験法希釈水を加えて10分振とうし、2 l シリンダーを用いて 0~30 cm の部分を30分静置の後採取し、ケン濁液を作製し、要すれば、さらに標準試験法希釈水で適当な希釈倍数に希釈した。

3) 培養は 300 ml のフランピンを用いたが、BOD測定時、液が混濁し、ヨウ素適定の終点がわかりにくく、 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ の沈殿を H_2SO_4 で溶解するとき、ケン濁部の粘土より Fe^{3+} (水田湿土、沈泥湿土なら Fe^{2+}) が溶解し、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の滴定値に誤差を生ずるため、ミョウバン凝集法を利用してケン濁粘土を凝集沈殿させ、上澄をサイフォンで 100 ml フランピンに分注して DO を測定した。また、DO測定はウインクラージ化ナトリウム変法によった。また、ミョウバン凝集の口液を pH 6~8 となし、 NO_2^- および NO_3^- を定量した。

Table 2. BOD of soil suspension

Soil		Fresh (moist) soils or time preserved after air-drying	Soil suspension				
			total residue (g/l)	carbon (ppm)	BOD (ppm)	BOD carbon	
No. 1	Monobe loam	grassy place	13 years	10.29	185.6	23.1	0.124
No. 2	Monobe clay loam	"	moist 6 days	7.24 8.39	196.6 216.2	12.3 28.2	0.063 0.130
No. 3	Matsunomoto sandy loam	"	moist 1 week	3.03 5.74	69.0 122.2	3.1 10.7	0.045 0.088
No. 4	Joyamacho fine clay loam	"	moist 1 week	9.38 15.68	241.6 450.2	4.4 24.4	0.018 0.054
No. 51	Monobe fine clay loam	cultivated field (rye, sweet poteto)	moist 3 days	14.16 16.28	416.0 431.4	18.0 29.3	0.043 0.068
No. 52	Monobe loam	" (rye, sweet poteto)	moist 5 days	12.00 14.08	190.0 290.5	4.6 12.6	0.024 0.043
No. 53	Yanagare clay loam	" (eggplant)	moist 59 days	7.89 12.34	159.1 237.8	4.6 13.9	0.029 0.058
No. 54	Nagano fine clay	" (carrot)	moist 10 days	9.21 9.60	234.3 258.4	3.1 6.6	0.013 0.026
No. 101	Ashizuri mull	forest (ever green broad leaved tree)	11 years	2.74	535.6	97.1	0.181
No. 102	Odamiyama clay	" (cryptomeria)	moist 56 days	2.88 6.56	317.4 648.8	10.4 67.2	0.032 0.104
No. 103	Kuma clay	(")	moist 2 days	2.97 3.07	282.2 288.6	7.0 22.4	0.025 0.078
No. 104	Yashima fine clay	" (pine)	moist 17 days	22.85 31.74	792.4 1113.0	31.2 69.8	0.039 0.063
No. 105	Yakushido fine clay	" (coppice)	moist 19 days	4.40 9.07	334.6 645.0	21.9 143.7	0.065 0.223
No. 201	Hamakaida clay	rice field	40 days	7.23	254.4	38.9	0.153
No. 202	Hisaeda fine clay loam	"	2 days	10.39	295.6	32.2	0.109
No. 203	Tarumi fine clay loam	"	6 days	17.28	490.2	23.4	0.048
No. 301	Maruike fine clay	pond mud	3 days	9.37	396.6	34.5	0.087
No. 302	Enokuchigawa fine clay loam	river mud	22 days	1.71	75.4	48.7	0.646
No. 303	Funairegawa fine sandy loam	"	8 days	4.38	173.9	28.0	0.161
No. 1001	Kataji fine clay	volcanic ash soil (kuroonji)	2 months	4.22	578.7	14.9	0.026
No. 1002	Jinyama fine clay	(" ")	moist 2 months	5.26 10.63	450.8 973.8	2.5 23.8	0.006 0.024
No. 1003	Yotsukaido fine clay	" (Kanto loam)	moist 20 days	2.81 7.13	173.8 460.5	1.5 9.2	0.009 0.020
No. 1004	Nisigahara fine clay	(" ")	22 years	11.48	656.8	7.5	0.011

4) 土壤ケン濁液は希釈倍数が大となるにしたがってBOD値が過大となり、この場合 NO_2^- および NO_3^- の生成がみられることが多く、BOD値は希釈倍数の小さなものより求めたBOD値を採用した。

5) 試料はBOD値の比較的低いと考えられる畑土壤から、順次、草地、林地、水田、沈泥とBOD値の高いと考えられる試料を選んで、ケン濁液作製の材料とした。

6) 1/1ケン濁液(希釈倍数1, すなわち原液)から適量をとってcarbonを定量し、BOD/carbon比を求め、立地条件、植生を異にする土壤腐植のケン濁液のBOD値に対する影響を調べる目安となし、湿土、風乾土による場合の比とも対比して土壤の「乾土効果」を検討した。

7) 森林土壤は腐植含量が高く、その腐植はBOD値増大に対する影響も大きく、乾土効果も高かった。畑、草地はBODおよび乾土効果が低い値を示した。また、沈泥は非常に高いBOD/carbon比を示した。

本研究を行なうにあたり、種々有益な御教示を賜った国立公衆衛生院の荻原耕一先生に深謝し、土壤採取に協力下さった方々に謝意を表します。

文 献

- 1) 農林省農業改良局, 耕土培養法に基く調査における土壤分析法, P. 66—69 (1953)
- 2) _____, _____, P. 88—90 (1953)
- 3) 農林省農業改良局農産課, 低位生産地改良資料 第24号, 低位生産地現地調査実施参考資料, P. 7—11 (1953)
- 4) 農林省振興局研究部監修, 標準土色帳, 日本色彩社, 東京
- 5) 通商産業省公害保安局, 公害防止の技術と法規(水質論), P. 311, 丸善, 東京(1972)——工場排水試験法(JIS K0102 抜萃)
- 6) 荻原耕一, 公害分析指針4, 水・土壤編1—C, 水のDO, BOD, OC, P. 47, 共立出版, 東京
- 7) _____, _____, _____, P. 14—15, _____, _____
- 8) _____, _____, _____, P. 43, _____, _____
- 9) _____, B. O. D. 試験法解説, P. 15—16, 續文堂出版, 東京(1972)
- 10) 横井利直, 土壤のはなし, P. 152—153 家の光協会, 東京(1961)
- 11) _____, _____, P. 164—165, _____, _____ (_____)
- 12) 三宅泰雄・北野康, 水質化学分析法, P. 114—120, 地人書館, 東京(1963)

(昭和49年9月30日受理)