

自然教育園内のハイドロカタナの土壌 (3)

— 微生物量および微生物活性と水溶性有機物 —

田中治夫*・伊藤一之*・本馬昌直*・坂上寛一*・浜田龍之介*

Soils of a Hydro-catena in the Institute for Nature Study (3)

— Relationship between the Microbial Biomass or
Microbial Activity and the Water Soluble Organic Matter —

Haruo Tanaka*, Kazuyuki Ito*, Masanao Homma*,
Kan-ichi Sakagami* and Ryunosuke Hamada*

緒 言

自然教育園内のさんしょう魚の沢から南の方角に面した斜面の土壌を調査した結果、水分条件はA地点の相対含水量が高く適潤性で、B、Dと斜面の上部になるほど相対含水量が少なく乾燥していること、また堆積腐植層(Ao層)は、水分条件に対応し、斜面上部ほど層厚が厚くなっていることが確認された。以上のことより、この斜面の土壌は、微地形による水分条件の違いから、Ao層の断面形態が異なるハイドロカタナを形成していることが明らかにされた(浜田ら, 1990)。また、無機質層位最表層(A層)中の有機態炭素、土壌糖(土壌中の炭水化物)量も、水分条件に対応し、斜面上部ほど含有量が高くなっていた(田中ら, 1990)。

これらのことは、水分条件の違いが、微生物の活性に影響を及ぼし、微生物による有機物の分解、ひいてはAo層の断面形態に違いを生じさせたことを推察させる。

土壌呼吸は、土壌微生物の活性を最も直接に測る手段として用いられ、有機物の分解を評価する手段としても役立っている(菅原, 1986)。本報告では、この一連の土壌の呼吸速度を微生物による有機物分解の指標として測定し、水分条件と有機物の分解との関連について考察をおこなった。また、微生物数、バイオマス炭素量、水溶性有機物および水溶性糖類の定量もおこない、水分条件、微生物活性との関係についても考察をおこなった。

* 東京農工大学農学部, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

材 料 と 方 法

1) 供試土壌

供試土壌は、それぞれ低地、斜面、尾根に位置し、水分条件がそれぞれ適潤性、弱乾性、乾性へと変化する、A、B、D地点のA層の土壌を用いた(浜田ら, 1990)。土壌は採取後直ちに実験室に持ち帰り、乾かないよう素早く2mmの篩を通し礫および粗大落葉枝根を取り除く調整をおこなった。土壌の微生物バイオマスは、乾燥や粉碎などの処理によって著しく影響されるので、採取、調整の影響を除くために、この生土試料を現地水分状態のまま培養をした。また、微生物量や活性に及ぼす水分条件の影響をみるために、A地点の生土試料に乾燥処理(D地点の相対容水量まで乾燥させた)をしたもの、D地点の生土試料に湿潤処理(A地点の相対容水量になるまで蒸留水を加えた)をしたものを用意し、先の試料と一緒に培養をした。培養は、25°Cの恒温器中で、21日間おこなった。

培養終了後、土壌呼吸速度の測定をおこなった。呼吸速度測定後直ちに、微生物数、バイオマス炭素量の測定と水溶性物質の抽出をおこなった。

培養後のA、B、D地点の土壌を、それぞれ土壌試料A、B、Dと、乾燥処理をしたA地点の土壌をA(d)、湿潤処理をしたD地点の土壌をD(w)と呼ぶ。

2) 土壌呼吸速度の測定

土壌呼吸速度は、二酸化炭素発生量を除去した空気を通気した後、5分間の二酸化炭素発生量を非分散型赤外線式ガス分析計により測定し、一時間当たりの呼吸速度に換算した。

3) 微生物数、バイオマス炭素の測定

微生物数は、全細菌数、放線菌数、糸状菌数を坂上ら(1989)と同じ方法により測定した。微生物バイオマス炭素量は、クロロホルムくん蒸法(丸本, 1986)に準じて測定した。

4) 水溶性有機物、水溶性糖類の定量

土壌試料からの水溶性物質の抽出には、菅家(1984)の方法を用いた。すなわち、土壌と水の比が1:5になるように、蒸留水を加え、振とう機で2時間振とうした後、プフナーロートで吸引ろ過し、さらに蒸留水で最終的には土壌と水の比が1:10になるまで洗浄した。この水抽出液を適宜濃縮し、水抽出液中の有機物、糖類を定量した。

水溶性有機物は、湿式酸化法(瀬戸, 1978)により測定した。

水溶性糖類は、水抽出液に0.5M濃度となるように硫酸を加え、8時間加水分解した。加水分解後、加水分解液中のグルコース、ガラクトース、マンノース、アラビノース画分(アラビノース+フコース+フルクトース)、キシロース、リボースおよびラムノースの各構成単糖を高速液体クロマトグラフィーで測定した(Tanaka et al. in review)。

結 果 と 考 察

1) 土壌呼吸速度

各土壌の呼吸速度を表1に示した。

呼吸速度は、相対容水量が高い(適潤な)Aで高い値を示し、相対容水量が低い(乾燥した)Dで低

い値を示した。また、乾燥処理（A→A（d））により呼吸速度は抑制され、湿潤処理（D→D（w））により助長された。

この結果により、呼吸速度には、水分条件の影響が大きいことが明らかとなった。

ただし、本実験での土壌呼吸速度の値は、測定前の通気操作により微生物活性が促進され、多少高い値になっていると思われる。この呼吸速度が長時間続くとは思われないが、各土壌間の微生物活性の比較には有効であろう。

表 1. 各土壌試料の土壌呼吸量

Table 1. Respiration rate of soil. (mg-carbon/100g dry soil/hr.)

	A	B	D	A (d)	D (w)
Soil respiration	9.5	8.6	6.0	3.8	11.5

2) バイオマス炭素量、微生物数

各土壌のバイオマス炭素量、微生物数を表 2 に示した。

細菌数は、適潤な A で高く、B、D の順に乾燥するにつれ減少した。また、乾燥処理により大きく減少し、湿潤処理により増加した。一方、放線菌数は B で高く、続いて A、D の順で、乾燥処理や湿潤処理により増加した。糸状菌は、乾燥した D で高く、続いて B、A の順であった。糸状菌は乾燥条件下で生態的に有利であると考えられるが、乾燥処理で減少し、湿潤処理により増加した。全微生物数（細菌＋放線菌＋糸状菌）は、その多くを占める細菌（A が最大で 93%、D が最小で 61%）と同様な傾向であった。

表 2. 各土壌試料のバイオマス炭素量と微生物数

Table 2. Amount of biomass-carbon and number of microorganisms in soil.

	A	B	D	A (d)	D (w)
Biomass-C (mg-C/100g dry soil)	216	159	174	193	180
Microorganisms (number/1g dry soil)					
Bac. (x10 ⁷)	7.87	2.82	0.75	2.37	1.08
Act. (x10 ⁶)	5.75	6.10	4.02	8.31	4.37
Fng. (x10 ⁵)	2.98	5.74	7.73	0.49	9.81
F/B (Fng/Bac)	0.004	0.024	0.10	0.002	0.091
A/B (Act/Bac)	0.07	0.26	0.54	0.35	0.68

Bac.: 細菌 Bacteria, Act.: 放線菌 Actinomycetes, Fng.: 糸状菌 Fungi

培養後の土壌 A、B、D の微生物数の結果は、本実験の 1 年前（1988 年 7 月）に同じ地点で採取した生土試料の微生物数を測定した坂上ら（1989）の結果とほぼ同様な傾向であった。

水分条件に対する細菌と、糸状菌の特性は異なり、湿潤状態では細菌が優位であるが、乾燥するにつれ糸状菌が優位になることがわかる。このことは、F/B 値（糸状菌数と細菌数の比）に顕著にあらわれた。微生物の違いにより、適した水分条件が異なることがわかる。

バイオマス炭素量は、Aで高く、続いてD、Bの順であった。また、乾燥処理により減少し、湿潤処理により増加した。糸状菌の一菌体当たりのバイオマス炭素量は、細菌、放線菌に比べて非常に大きい。また、希釈平板法で計数される細菌数は、全体のごく一部であるのに加え、糸状菌では孢子数も計算される（西尾・岡野, 1986）。そのため、本実験のようにF/B値などで示される微生物層が大きく異なる場合には、バイオマス炭素量と微生物数の関係は複雑である。

3) 水溶性有機物および水溶性糖類

各土壌試料の水溶性有機物と水溶性糖類の構成単糖量を表3に示した。また、田中ら（1990）より培養前の供試土壌の炭素含量、糖態炭素含量の値を引用し、全有機態炭素に占める水溶性有機態炭素の割合などの値を計算し表4に示した。

表 3. 各土壌試料の水溶性有機物量および水溶性糖類中の構成単糖量
Table 3. Water soluble organic matter and component sugars
in water extract. (mg-C/100g dry soil)

	A	B	D	A (d)	D (w)
WSC	5.3	9.3	10.8	3.5	10.6
Total	0.09	0.12	0.16	0.02	0.14
Glucose	0.03	0.03	0.05	n.d.	0.03
Galactose	tr.	0.01	0.01	n.d.	0.01
Mannose	0.01	0.01	0.02	tr.	0.01
Arabinose F	0.01	0.02	0.02	tr.	0.02
Xylose	0.03	0.03	0.04	0.01	0.03
Ribose	tr.	tr.	tr.	n.d.	tr.
Rhamnose	0.01	0.01	0.02	tr.	0.02

WOC: 水溶性有機体炭素 Organic carbon in water extract,
WSC: 水溶性糖態炭素 Total sugar carbon in water extract,
Arabinose F: Arabinose+Fucose+Fructose,
tr.: trace, n.d.: not detected

表 4. 全炭素, 全糖, 水溶性有機物, 水溶性糖の関係 (%)

Table 4. Relationship between total organic carbon, total sugar carbon,
water soluble organic carbon and water soluble total sugar carbon.

	A	B	D	A (d)	D (w)
WOC/TOC	0.045	0.61	0.045	0.029	0.044
WSC/TSC	0.012	0.011	0.010	0.002	0.009
TSC/TOC	6.43	7.32	6.57	6.43	6.57
WSC/WOC	1.81	1.34	1.52	0.45	1.27

WOC: 水溶性有機態炭素 Organic carbon in water extract,
WSC: 水溶性全糖態炭素 Total sugar carbon in water extract,
TOC: 全有機態炭素 Total organic carbon in soil,
TSC: 全糖態炭素 Total sugar carbon in soil.

水溶性有機物、水溶性糖量ともにAで少なく、Dで多かった。また、乾燥処理をしたA(d)、湿潤処理をしたD(w)とも、それぞれA、Dの土壌よりも少なかった。

供試土壌の土壌糖中のキシロースの量は多くない(田中ら, 1990)。しかし、水溶性糖類では、グルコースとアラビノース画分に次いでキシロースが多かった。土壌中の中性単糖のうちで、アラビノースとキシロースは主に植物起源であり、グルコースは植物と微生物の両者に由来すると考えられている(村山, 1984)。水溶性糖類には、植物起源と考えられる糖の割合が多く、水溶性糖類には、植物起源の粗腐植などの影響が大きいと考えられる。

水溶性有機態炭素/全有機態炭素(WOC/TOC)は0.03~0.06%であり、Bで最も高く、次にA、Dの値が同じで、以下D(w)、A(d)の順であった。一方、水溶性全糖態炭素/全糖態炭素(WSC/TSC)は、0.002~0.012%で、Aで最も高く、以下B、D、D(w)、A(d)の順であった。土壌中に集積している有機物のうち水溶性化している割合は、全有機物の方が糖類よりも、4~15倍高かった。したがって、全糖態炭素/全有機態炭素(TSC/TOC)は、7%前後であるのに、水溶性全糖態炭素/水溶性有機態炭素(WSC/WOC)は0.45~1.81%であった。

また、A、B、Dの土壌では、水溶性全糖態炭素/水溶性有機態炭素は、Bの土壌が最も低かった。また、Bの土壌では、グルコース/水溶性全糖態炭素の値が低い。一方で、水溶性有機態炭素/全有機態炭素はBで最も高いことから、全体で見た有機物は、水溶性化しやすい傾向をもっているのに、糖は相対的に水溶性化しにくいと考えられる。特にグルコースが、相対的に水溶性化し難いと考えられる。水溶性化した有機物は、微生物によりすみやかに分解されると考えられるから、糖が相対的に水溶性化し難いBの土壌では、土壌糖が全有機物に対し相対的に増加、集積していくと考えられる。実際にも、Bの土壌では、土壌糖の集積、特にセルロース型グルコースの集積が確認されている(田中ら, 1990)。

ま と め

土壌呼吸速度は、適潤な水分条件で高く、乾燥条件で低かった。また、湿潤処理により助長され、乾燥処理により抑制された。このことは、土壌呼吸が水分条件を強く反映していることを示している。しかし、同じ相対含水量で培養したAとD(w)およびDとA(d)の呼吸速度が異なることから、土壌呼吸量は、水分条件だけを反映していないことも明らかである。

土壌呼吸量は、微生物数と関係があり、また土壌微生物と関係の深い土壌水分、温度、pH、土壌中の有機物量と質、水溶性有機炭素などの環境因子にも関係のあることが知られている(石沢ら, 1958; 石沢・田辺, 1969; 金沢ら, 1976; 坂巻ら, 1979; 瀬戸, 1980; 瀬戸・丹下, 1980)。

細菌数は、呼吸量と同じ傾向を示し、呼吸量における細菌の重要性が示唆される。しかし、放線菌数、糸状菌数は呼吸量と直接の関係が見いだされなかった。また、糸状菌の寄与が大きいバイオマス炭素量と呼吸量との間にも相関はみられなかった。

pH(H₂O)は、Aでは弱酸性であったが、B、Dとなるにつれ、土壌の酸性が強くなり、交換性陽イオン量も減少している(田中ら, 1990)。pHや交換性陽イオン量は、呼吸量と正の関係がみられ、強い酸性条件や塩基類が少ないと微生物活性は抑制されると考えられる。

土壌中の有機態炭素、土壌糖量は、Aで少なく、B、Dとなるにつれ増加していた(田中ら, 1990)。呼吸量とは負の関係である。また、水溶性有機物、水溶性糖量も、呼吸量と負の関係がみられた。ただ

し、水溶性物質の量は変動が激しく、また、水溶性物質の抽出は呼吸量測定後におこなっており、増加した呼吸量に水溶性有機物の供給が追いつかず、抽出定量時には水溶性有機物量が減少していた可能性も考えられる。

土壌の構造の発達程度は、土壌ごとに異なり、Aで発達が良く、Dでは発達が悪いと考えられ（浜田ら、1990）、土壌構造の発達程度が呼吸量に与える影響は大きいと考えられる。

以上のことより、このハイドロカタナの土壌の呼吸速度は、水分条件やpH、交換性陽イオン量、細菌数、土壌構造などのさまざまな土壌環境によって相互に支配されていると考えられる。その中でも特に、水分条件の影響が大きいと考えられる。

A地点では、水分条件が適潤性であり、微生物活性が高く、有機物の分解が速いと考えられるが、B、Dと斜面の上部になるほど、水分条件は乾燥的になり、微生物活性が低く、有機物の分解が抑制されるものと考えられる。このことが、斜面上部ほど、腐植化度の低い、元の植物遺体の有機物組成の特徴を多少とも保有する粗腐植的な性質が強い有機物を多量に集積している（田中ら、1990）原因となっていると思われる。

A層の土壌の微生物活性の違いは、Ao層にも反映しているものと思われ、水分条件の違いがAo層の有機物の分解、ひいてはAo層の有機物の分解を通し、断面形態の違いを生じさせたものと考えられる。

したがって、自然教育園内のさんしょう魚の沢から南の方角に面した斜面上のAo層の断面状態が異なるハイドロカタナは、微地形の違いによって生じた水分条件を主とする環境の産物であると考えられる。

謝 辞

本実験の実施にあたって、自然教育園の関係各位に大変お世話になった。記して謝意を表する。

Summary

Soils of pedon A, B, and D on the slope on the southern side of the Sansyou-uo swamp in the Institute for Nature Study were the hydro-catena, of which Ao horizon differentiation corresponded to the hydro-condition caused by the relief. Soil respiration(SR) of these soils were determined as the criteria of the decomposition of soil organic matter by soil microorganisms, and discussed about the relationship between the hydro-condition and decomposition of soil organic matter. Number and biomass-carbon of the microorganisms, and organic matter and sugar in the water extracts of soils were also determined, and discussed about the relationship between these values and the hydro-condition or decomposition of soil organic matter.

Hydro-condition of A was moderately moist, and SR was high. That of B was weakly dry, and SR was middle. That of D was dry, and SR was low. SR was corresponded with hydro-condition. SR became lower by drying treatment of soil, and became higher by wetting treatment. It is considered that SR was influenced mainly by the hydro-condition of soils.

It could also be observed the positive relationship between SR and number of the bacteria, or pH of soils. It could be observed that the negative relationship between SR and number of the fungi, or amount of organic-carbon, total sugar in soils and water extracts. It is considered that SR rate caused by mainly hydro-condition influenced the accumulation of soil organic matter in A horizon, and also influenced the depth and the differentiation of Ao horizon.

引用文献

- 浜田龍之介・田中治夫・村田智吉・坂上寛一。1990。自然教育園内のハイドロカタナの土壌(1)—水分条件と断面形態—。自然教育園報告, **21**: 87-96。
- 石沢修一・鈴木達彦・甲田知則・佐藤修。1958。土壌の微生物とその作用に関する研究。農技研報B, **8**: 67-162。
- 石沢修一・田辺市郎。1969。土壌の微生物活性。I。土壌の呼吸作用。農技研報B, **21**: 115-157。
- 金沢晋二郎・浅見輝男・高井康雄。1976。亜高山帯針葉樹林下の土壌有機物の性状と分解過程(第3報)。本地域における野外の土壌呼吸量について土肥誌, **47**: 549-554。
- 菅家文左衛門。1984。畑および湛水条件下における水溶性有機物の挙動。土肥誌, **55**: 357-360。
- 丸本卓哉。1986。微生物バイオマス, クロロホルムくん蒸法。土壌標準分析・測定法(土壌標準分析・測定法委員会編), p.293-302, 博友社。
- 村山重俊。1984。土壌糖の起源, 分解性, 糖組成と土壌微生物。土壌のバイオマス(日本土壌肥料学会編), p. 65-114, 博友社。
- 西尾道徳・岡野正豪。1986。直接法菌数。土壌標準分析・測定法(土壌標準分析・測定法委員会編), p.284-293, 博友社。
- 坂上寛一・奥山篤司・田中治夫・浜田龍之介。1989。自然教育園の土壌——カタナにおける土壌微生物相—。自然教育園報告, **20**: 21-29。
- 坂巻義男・伊野良夫・大島康行。1979。自然教育園四林分の土壌呼吸について。自然教育園報告, **9**: 91-98。
- 菅原和夫。1986。土壌呼吸。土壌標準分析・測定法(土壌標準分析・測定委員会編), p.270-280, 博友社。
- 瀬戸昌之。1978。湿式酸化—赤外線ガス分析計による全有機炭素の高感度迅速定量法。分析化学, **27**: 660-663。
- 瀬戸昌之。1980。土壌の二酸化炭素の放出速度と土壌の含水率および土壌溶液中の溶存有機炭素量との関係。日生態会誌, **30**: 385-391。
- 瀬戸昌之・丹下勲。1980。土壌の二酸化炭素の放出速度と土壌溶液中の溶存有機炭素量との関係。とくに土壌を風乾処理した場合。土肥誌, **51**: 392-398。
- 田中治夫・今木恵美・坂上寛一・浜田龍之介。1990。自然教育園内のハイドロカタナの土壌(2)—理化学性と土壌有機物の腐植組成と糖組成—。自然教育園報告, **21**: 97-108。
- Tanaka,H,Hamada,R,Kondoh,A.and Sakagami,K. in review. Determination of component sugars in soil organic matter with HPLC. Zentralblatt für Mikrobiologie.