

原著論文 土壤呼吸速度の教材性と環境教育的効果に関する検討

福田 直
埼玉県立自然史博物館

Study on the method of environmental diagnosis by soil respiration
and student's reaction

Tadashi FUKUDA
Saitama Museum of Natural History
(受理日 1997年1月23日)

Today, the preservation of natural environment is strongly advocated. Soil is the habitat of living organisms in nature. But, people have little interest in soil for because it is difficult for them to understand it.

Soil respiration was calculated by the rate of CO₂ evolution from soil obtained from various locations. The data for soil respiration was able to serve as an indicator of environmental diagnosis.

It has been definitely shown that soil respiration is able to indicate a live or dead environment. Students interested in soil respiration observed the qualities of various soil by measuring of soil respiration as an environmental indicator. Soil with the plenty of microorganism and humus shows active respiration, and dying or dead soil respirates little.

Key words : environmental diagnosis, environmental education, environmental indicator, soil activity, soil respiration, student's reaction

1. はじめに

近年、環境破壊や汚染は地球的規模で広がっている。例えば、オゾン層の破壊、砂漠化、温暖化、酸性雨、熱帯林の喪失などである。これらの環境問題の主たる原因は、環境への負荷が自浄能を越えたため生じたものと考えられている。地球規模の環境問題を解決するには、全人類がその実態を把握し、関心を持ち、真剣に対策を検討し、解決に向けて具体的に行動していくことが重要となる。それには、あらゆる国で環境教育を実践し、一人でも多くの人たちが環境保護や保全の大切さ、必要性を理解・把握していくことが求められる。学校における環境教育の実施は教科指導や特別活動

を通して行われる。教科指導では、理科教育や社会科教育の中で実践している学校が多い。

筆者はかつて学校に勤務していた時、自然を構成する要因のうち取り扱いが最も消極的である土壌に着目し、その教材開発を行ってきた(福田, 1986;1987;1988b;1988c;1995a)。生徒は土に対する関心が低く、土の知識も乏しい。また、多くの生徒はどこの土でも大差はなく、土が問題となることはほとんどないと考えている。さらに、地球環境問題に強い関心を持っている生徒でも土壌破壊や汚染などへの関心は著しく低い(福田, 1994)。環境問題の身近な例として大気汚染や水質汚濁をあげる生徒はいるが、土壌問題をあげる者は全くいない。それは、我が国では深刻な土壌問題がほ

(問い合わせ先) 〒358 埼玉県入間市大字小谷田 745 埼玉県立入間高等学校

とんど知られていないことに加えて、学校教育での土壌の取り上げ方に問題があるからである。生徒の土に対する関心や知識を高めたり、自然における土の重要性に気づかせるには単に言葉だけで土を説明するだけではなく、実際の土を使った観察や実験が必要である (Fukuda, 1990)。野外で様々な自然観察を実施している教師でも土を取り上げたり、土の説明をすることは少なく土の中に目を向けることは皆無となっている (福田, 1995)。とはいえ、自然における土の働きや役割は極めて重要であり、決して軽視することはできない。

そこで、土を正しく理解させるにはまず土が多様であること、土にも違いがあることをきちんと把握させることが大事と考え、指導教材の開発を行った。その結果、土の多様性を指導する方法として土壌呼吸速度を教材とするのがよいことがわかった。その後、この教材を使った指導法を検討し、実践を繰り返したところ、生徒の土や自然への関心や理解を著しく高めるとともに土に対する認識が大きく変容していた。また、様々な土の活性を呼吸速度により比較させることができるので環境教育的視点で扱うことも可能であることがわかったので報告する。

2. 土壌呼吸速度を教材とした授業実践

土壌呼吸 (Soil Respiration) とは、土壌が酸素を消費して二酸化炭素を排出する現象であり、主に土壌中の微生物や植物根などが行う呼吸を指している。それ故、土壌呼吸の大きさは微生物などの活性の度合いを表しているといえることができる。土壌呼吸の大きさを知る場合、土壌が消費する酸素量を調べるかあるいは土壌から発生する二酸化炭素量を調べるかのいずれかである。本報では、二酸化炭素の発生速度を調べる方法を取り上げ、土壌呼吸速度として算出することとした。

土壌からの二酸化炭素の発生速度を測定する方法としては、Walter (1952) の考案した密閉吸収法がよく知られている。この密閉吸収法は、野外・室内ともに測定可能である。

1 実施方法

(1) 授業

実施年月日：1990.7.1～16

実施学年・クラス：3年2クラス (男子49名、女子45名、計94名)

対象生徒：生物選択者

班編成：1クラス6班 (1班7～8名、男女混合)

(2) 実験

各班は2ヶ所を選定して土壌呼吸速度の測定 (野外、室内)、地温測定、植生調べを実施した。

a. 土壌呼吸速度の測定方法 (野外)

野外、室内ともに密閉吸収法によった [詳細は福田 (1990b) を参照]。野外では地面にシャーレ台を設置し、その上に0.5M水酸化ナトリウム溶液20mlを入れたシャーレを置き、円筒状容器をかぶせて24時間後回収液中の二酸化炭素量を0.1M塩化アンモニウム溶液で滴定して求める。

b. 土壌呼吸速度の測定方法 (室内)

室内ではポリ容器に土壌を入れ水分調整した後、0.5～1.0N水酸化ナトリウム溶液20mlを入れた小容器を吊るして密閉し、28℃恒温器内に静置し24時間後に野外と同様な方法で測定する。

c. 有機物添加

土壌50gをビーカーに入れ、水分調整した後グルコースを1.25g添加する。28℃の恒温器内で24時間インキュベートした後、呼吸速度を測定する。

d. 土壌有機物量

各地点で採集した表土の土色を調べる (福田, 1987)。この時、土壌が乾いていたなら少し湿らせてから調べるとよい。土色が明色の場合は有機物量一、やや暗色は+、黒色は++、真黒色は+++とする。

2 結果及び考察

a. 野外での測定

野外の各地点で測定した土壌呼吸速度は、表1の通りであった。呼吸速度が大きかった地点は雑草地、野菜畑、コナラ林、芝生地などで、逆に小さかったのは駐車場、道路、空き地、グラウンドであった。また、砂場では極端に呼吸速度は小さく、土壌との違いがはっきりしていた。また、コンクリートで呼吸速度がゼロとならなかったのは、容器との接触面のすき間から器内への外気の流入

表1 各調査地点における二酸化炭素の発生速度及び植生・土壌動物数・落ち葉層の有無
(野外、7月上旬)

調査地点	CO ₂ 発生速度 (CO ₂ -Cmg/m ² /day)	地温 (°C)	主な植生	土中動物	落ち葉層
コナラ林	3258	21.6	コナラ・クヌギ	+++	あり
マツ林	2490	22.2	マツ	++	あり
野菜畑	3869	24.8	キャベツ	+	なし
森林	2115	17.4	ヒノキ	+++	あり
グラウンド	841	26.5	なし	±	なし
芝生地	3082	23.9	シバ	++	なし
道路	437	27.1	なし	-	なし
砂場	165	25.4	なし	-	なし
雑草地	4218	22.7	オオバコ	++	あり
空き地	796	26.9	なし	-	なし
駐車場	188	25.0	なし	-	なし
コンクリート	26	-	なし	-	なし

注) 完全密閉容器での測定値は、15CO₂-Cmg/m²/dayであった。地温は地表から3cmの深さのところで測定した。土壌動物数は50cm四方、深さ5cmの土壌についてハンドソーティング法により調べた(+++21匹以上 ++:11-20匹 +:3-10匹 ±:1-2匹 -:0匹)。

によるためと考えられる。

土壌呼吸速度が大きい値を示した雑草地やコナラ林では落ち葉や枯れ葉などの有機物層が表土を覆っており、土壌動物が多く生息していた。森林ではコナラ林などと同様有機物からなる腐植層が発達しており、動物数が多かったが、呼吸速度は小さかった。これは、地温が低かったことが関係していると推定される。マツ林の土壌は砂が主体であり、砂地に林が成立して間もない未熟な土壌であったことが呼吸速度の大きさにも現れている。また、野菜畑は耕起や施肥などの土壌管理が十分に行われているため、有機物層はほとんど見られないが呼吸速度はかなり大きかった。一方、土壌が踏み固められてしまったり、植物が生えないようにされている道路やグラウンド、空き地では呼吸速度が著しく小さかった。特に、駐車場の土壌は手で掘るのが難しいくらい固く、呼吸速度はわずか188CO₂-Cmg/m²/dayで、雑草地の約22分の1に過ぎなかった。土壌呼吸速度は植生や気温、降雨量などの様々な環境要因の影響を強く受ける(桐田, 1971)。

b. 室内での測定

ポリ容器に野外で採集した土壌をそう填し水分

調整を行わず、室温に24時間置いた場合の土壌呼吸速度は表2の通りであった。この表から、野菜畑と雑木林の土で大きく、グラウンドと砂で小さかった。土壌微生物の繁殖が最大となる水分、温度条件に置いた場合の土壌呼吸速度を測定した結果は表3の通りであった。水分・温度調整をした場合はしない場合よりも呼吸速度がかなり増大していた。特に、増大の割合は呼吸速度が小さかったグラウンドの土や砂場の砂で顕著であった。呼吸速度は野菜畑が最大で27.5CO₂-Cmg/50g乾土・dayで、次いで雑草地、森林、雑木林、芝生地の順であった。これに対して、グラウンド、駐車場では低く、最小は砂場でわずか4.5CO₂-Cmg/50g乾土・dayであった。野外と室内での土壌呼吸速度の土壌間の違いはほぼ同様の傾向を示

表2 各種土壌における二酸化炭素の発生速度(室内)

測定土壌	CO ₂ 発生速度	主な植生
雑木林	14.3	コナラ・クヌギ
野菜畑	21.8	キャベツ
グラウンド	2.7	ほとんどなし
砂場	1.1	なし

注) 測定は野外で採取した生土を用いて室温で行った。表中のCO₂発生速度はCO₂-Cmg/50g乾土・dayとする。

表3 各種土壤における有機物無添加 (A) と添加した (B) 場合の二酸化炭素発生速度 (室内)

測定土壤	CO ₂ 発生速度 (A)	CO ₂ 発生速度 (B)	B/A
雑 木 林	22.9	72.5	3.17
野 菜 畑	27.5	65.8	2.39
森 林	23.1	79.5	3.44
グ ラ ウ ンド	9.2	17.8	1.94
芝 生 地	20.7	48.2	2.33
砂 場	4.5	5.1	1.13
雑 草 地	24.6	69.9	2.84
駐 車 場	8.1	12.6	1.56

注) 土壤水分を最大容水量の55%に調整し、28℃恒温器内で24時間インキュベートした。有機物添加量：Glucose-C 1.25g/50g乾土。
表中のCO₂発生速度はCO₂-Cmg/50g乾土・dayとする。

していたが、測定時の地温が最も低かった森林土壤で室内での呼吸速度が相対的に大きくなっていた。一方、グラウンドや駐車場などではさほど大きな呼吸速度とはならなかった。これは、森林土壤が地温上昇などにより微生物活性が高まり土壤呼吸速度が増加したが、グラウンドや駐車場の土には土壤微生物が乏しくその活性の高まりが少なかったことを表している。

c. 土壤への有機物添加による呼吸速度の変化

土壤呼吸は、微生物などによる活動の結果生じる現象である。そして、微生物活動は有機物添加により増加することが推定される。それは、有機物が微生物などの餌となり、これを添加することにより微生物が増殖して土壤呼吸速度を高めることになるからである。そのため、土への有機物添加により、土の持つ潜在的な呼吸能を知ることができる。福田 (1986) は、土に種々の有機物を添加して土壤呼吸速度への影響を調べた結果、特にグルコースの添加により呼吸速度が著しく増加することを確認した。そこで、グルコースを様々な土に添加してどのくらい土壤呼吸の大きさが変化するかを調べた結果、表3の通りであった。この表から、グルコース添加による呼吸速度の増加率が最も高かったのは森林土壤の3.44倍、次いで雑木林土壤3.17倍、雑草地土壤2.84倍で野菜畑、芝生地土壤も2.30倍を越えた。これに対して、グラウンドや駐車場では低く、砂場では1.13倍と増加がほとんど認められなかった。

土へのグルコース添加による呼吸速度の変化から、呼吸速度の増加率が土により大きく異なるのがどうしてかを考察させたとこ、グルコース添加が土にどんな変化をもたらしたか、わずか24時間で微生物活性が高まるかなどについて疑問を持った生徒がいた。生徒へはグルコースが土中の分解者 (微生物) の餌となること、餌があると分解者が比較的短時間に増殖することを説明した。ある生徒は踏み固められてしまった土では分解者がほとんど死に絶えてしまっており、たとえ餌が加えられてもわずかしかな増殖せず、呼吸速度の変化が小さいのに対して、森林や雑木林の土壤にはすでに多くの分解者が存在しており、休んでいる休眠状態であるが、グルコース添加によって急激に増殖し、呼吸速度が増したと説明する生徒もいた。

これらの結果から、森林や雑木林の土壤は潜在

表4 各土壤の土壤有機物量

地 点	土 色	有機物量
雑 木 林	7.5YR 2/2 (黒褐色)	++
野 菜 畑	7.5YR 3/3 (暗褐色)	+
森 林	7.5YR 2/1 (黒 色)	++
グ ラ ウ ンド	2.5Y 5/3 (黄褐色)	-
芝 生 地	10YR 3/4 (暗褐色)	+
砂 場	10G 6/1 (緑灰色)	-
雑 草 地	7.5YR 3/2 (黒褐色)	++
駐 車 場	10YR 5/1 (褐灰色)	-

土色は色相・明度/彩度 (標準土色帖による) を表す

的な呼吸能が高いことが考えられ、生徒が表現した「生き生きした」土ということが出来る。それに対して、グラウンドや駐車場の土は潜在的呼吸能が低く、有機物を添加しても土壌活性は高まらず「死にそうな」土といえる。

d. 土壌有機物量

呼吸速度を測定した土壌について有機物量を土色帖（農林水産省農林水産技術会議事務局、1967）との比色から調べた色相・明度/彩度を表4に示した。土壌の色は、主に腐植による黒色と酸化鉄による赤色や黄色、還元鉄による青色や緑色などに影響される。この表から、森林や雑木林、雑草地、畑地では黒色、暗色が強く有機物に富むことを示しているが、グラウンドや駐車場では有機物に乏しいことが認められる。

3. 土壌実習に対する高校生の反応

土壌実習の前後でアンケート調査を実施し、レポートの中で実習に関する感想を書いてもらった。感想については、その一部を紹介する。

1 高校生の土に対する知識・関心度（アンケート調査）

生徒に対するアンケート調査（付表参照）は、土壌呼吸速度の測定などの土壌実習（3年2クラス、94名対象）の実施前後に行った。この実習の実施前のアンケート調査の結果（表5）から、土に関心を持っている生徒は12.8%と少なく、「土は有限な資源である」、「土は大切な自然である」という捉え方が乏しいことが明らかとなった。また、「土は岩石や砂が細かく砕けてできる」、「土には水をきれいにする働きがある」、「月に土がある」などの質問項目を見ると、土に対する正しい知識もあまりないことが確認された。また、「土には多数の分解者がいる」ことは68.1%の生徒が認めているものの「土は物質循環のかなめである」とする生徒は12.8%と少なく、土壌理解が進んでいないことがわかる。「土が呼吸している」と思っている生徒はわずかに6.4%であり、土は「不変のもの」と考えている。そして、生徒にとって土は「わかりにくいもの」であり、「ふだん土とよく接する」機会は少なく、決して「身近な自然」

とは考えられていないことが明らかとなった。

この土壌実習後に実施したアンケート調査の結果を表6に示した。この表から、多くの生徒は土壌に関心を持ち、土壌呼吸速度の測定に大変興味を持ったことがわかる。「土が呼吸している」ことは大半の生徒が認めており、実習前と大きく違っていた。また、「土壌は大切な自然である」と捉える生徒が実習前の27.7%から61.7%に増え、「土壌に対する人為の影響が大きい」、「グラウンドより雑木林の土壌の方が生き生きしている」ことを確認し「土壌保全は必要である」ことを認識している生徒が4分の3近くに達していた。実習後の発表の中で「土の中はブラックボックスだと思っていたが、土壌呼吸実験が土の活動を示してくれたのですごく土の謎が解けたような気がする」、「呼吸速度のデータから元気な土、死にそうな土、死んでしまった土を判断できるのはすごい」と話した生徒がいた。しかし、その一方で「土が呼吸しているなんて信じられない」と話している生徒もいた。そして、「土はわかりにくいもの」と思っている生徒が実習前よりは減ったとはいえ依然として半分近くいることから、土の科学的認識が必ずしも深まっていないことが考えられる。

2 実習に対する生徒の感想

土壌呼吸速度の測定などの実習終了後、生徒全員にレポートを提出させた。その中にあった実習に対する感想を一部紹介すると、以下のようであった。

- ①土が呼吸していることをはじめて知った。呼吸速度の違いから土の元気度を調べたのはおもしろかった。駐車場の土はやっと息をしているって感じに見えた。
- ②呼吸実験はおもしろかった。滴定はむづかしかった。私たちの班は学校のとなりの林とグラウンドで実験したが、容器をかぶせた時はこんな方法で測定できるのかと心配だったがうまく測れてよかった。
- ③土が呼吸していることに感動した。これからは土の命も大切にするようにしていきたいと思う。
- ④この班では野菜畑とその横の道路の土の呼吸を測定した。畑では呼吸速度が大きく、道路では

付表 アンケート調査（質問表）

アンケート調査1（事前調査）	
次のア～ソについて、どう思いますか。はい、いいえ、わからないのいずれかで答えなさい。	
ア 土には関心を持っている	(はい、いいえ、わからない)
イ ふだんから土とよく接する方である	(はい、いいえ、わからない)
ウ 土は岩石や砂が細かく砕けてできる	(はい、いいえ、わからない)
エ 月には土がある	(はい、いいえ、わからない)
オ 土は物質循環のかなめである	(はい、いいえ、わからない)
カ 土は有限な資源である	(はい、いいえ、わからない)
キ 土は身近な自然である	(はい、いいえ、わからない)
ク 土は呼吸している	(はい、いいえ、わからない)
ケ 土には多数の分解者がいる	(はい、いいえ、わからない)
コ 土には水をきれいにする働きがある	(はい、いいえ、わからない)
サ 土のにおいは好きな方である	(はい、いいえ、わからない)
シ 土は大切な自然である	(はい、いいえ、わからない)
ス 土は不変のものである	(はい、いいえ、わからない)
セ 土はわかりにくいものである	(はい、いいえ、わからない)
ソ 土の実験をしてみたい	(はい、いいえ、わからない)

アンケート調査2（事後調査）	
次のア～シについて、どう思いますか。はい、いいえ、わからないのいずれかで答えなさい。	
ア 土壌に関心を持った	(はい、いいえ、わからない)
イ 土壌呼吸速度が測定できた	(はい、いいえ、わからない)
ウ 土壌呼吸速度の実験は面白かった	(はい、いいえ、わからない)
エ 土壌はわかりにくいものと思う	(はい、いいえ、わからない)
オ 土は呼吸している	(はい、いいえ、わからない)
カ 土壌は大切な自然である	(はい、いいえ、わからない)
キ 呼吸速度の違いから土により活性が異なる	(はい、いいえ、わからない)
ク 土壌に対する人為の影響は大きい	(はい、いいえ、わからない)
ケ グラウンドより雑木林の土の方が生き生きしている	(はい、いいえ、わからない)
コ 土壌保全は必要である	(はい、いいえ、わからない)
サ 人為的影響の大きさにより土壌呼吸速度は違う	(はい、いいえ、わからない)
シ 呼吸速度により土壌診断ができる	(はい、いいえ、わからない)

小さかった。この違いは、畑は良く耕されていてやわらかいのには道路は人や車によってふみ固められ窒息状態になっていることによっているのではないかと思う。

⑤土壌呼吸速度の測定はむづかしかったが、楽しかった。実験装置をつくってから翌日いってみると実験中と書いたのがあったのでうれしかった。

た。実験室でやったのより外でやった方が本当の土の呼吸速度を測っているような気がした。

⑥私たちは学校の近くのコナラ林とグラウンドそれにコンクリートのうえでも呼吸を調べてみた。また、放課後学校から少し離れた森の中でも測定してみた。森は木が茂っていて土を少し掘るとミミズやワラジムシ、ムカデなどがたくさん

表5 グラウンド生徒の知識・関心度(%)

質問事項	はい	いいえ	わからない
土には関心を持っている	12.8	66.0	21.2
ふだんから土とよく接する方である	29.8	65.1	4.3
土は岩石や砂が細かく砕けてできる	40.4	27.7	31.9
月には土がある	38.3	44.7	17.0
土は物質循環のかなめである	23.4	27.7	48.9
土は有限な資源である	6.4	17.0	76.6
土は身近な自然である	10.6	66.0	23.4
土は呼吸している	12.8	42.5	44.7
土には多数の分解者がいる	68.1	10.6	21.3
土には水をきれいにする働きがある	40.4	34.0	25.6
土のにおいは好きな方である	61.7	23.4	14.9
土は大切な自然である	27.7	4.3	68.0
土は不変のものである	31.9	6.4	61.7
土はわかりにくいものである	61.7	10.6	27.7
土の実験をしてみたい	6.4	59.6	34.0

(2クラス：男子49、女子45、計94名)

表6 生徒の興味・関心度及び理解度(%)

質問事項	はい	いいえ	わからない
・土壌に関心を持った	75.8	8.7	15.5
・土壌呼吸速度が測定できた	96.7	0	3.3
・土壌呼吸速度の実験は面白かった	78.7	6.5	14.8
・土壌はわかりにくいものと思う	44.7	23.4	31.9
・土は呼吸している	93.4	2.1	4.5
・土壌は大切な自然である	61.7	0	38.3
・呼吸速度の違いから土壌により活性が異なる	80.2	2.1	17.7
・土壌に対する人為の影響は大きい	93.4	1.0	5.6
・グラウンドより雑木林の土壌の方が生き生きしている	97.9	0	2.1
・土壌保全是必要である	72.5	6.5	21.0
・人為的影響の大きさにより、土壌呼吸速度は違う	63.7	5.4	30.9
・呼吸速度により土壌診断ができる	70.3	8.7	21.0

(2クラス：男子46、女子45、計91名)

いるので呼吸値が大きいと思ったのに、意外と小さかった。先生が地温が関係すると言われたので測ってみたら、他の所よりかなり低かった。

⑦土の呼吸速度が場所によっていろいろだったのが大きな発見であった。特に、グラウンドや駐車場や空き地、道路の呼吸速度が小さかったのは人間の活動(車や人によって踏み固められた

り、表面の土が削り取られている)に原因があることがわかった。

⑧土がきたないと思っていたが、誤解だった。土の勉強をして、土の大切さがわかったような気がした。土も水や空気と同じように大切な資源であると感じた。

⑨グラウンドの土にはグルコースを加えてもあま

り呼吸が盛んにならなかったのに、雑木林の土は3倍以上に増えた。この理由を班で考えた結果、微生物がすでにたくさんいたが餌がなかったのではじっとしていたか、あるいは餌が加わるとともに増えたかのいずれかではないかとなった。

- ⑩野外での実験は本当に楽しかった。特に、呼吸速度によって土の自然度を判定するのはおもしろかった。
- ⑪土の中で呼吸が行われていることは初めて知った。また、呼吸速度で土の環境診断ができるのでこれからは自分でもやってみようと思う。
- ⑫足で踏みつけていた土が呼吸していることに驚きを感じた。また、土の呼吸速度が場所によって大きく違っていた。雑草地や芝生地の土壌呼吸速度が大きかったのは草の根の呼吸が関係しているのではないだろうか。
- ⑬生き生きしている土をつくるには土を保全しなければならないと思った。
- ⑭野菜畑の土壌呼吸速度が林の土より大きかった理由がよくわからなかった。人為の影響が畑と同様に大きいグラウンドや空き地などとの違いはかたさにあり、踏みつけが呼吸を抑制していると考えられる。
- ⑮土壌呼吸速度による土壌診断でいろいろなことが学べた。この方法は比較的簡単で、おもしろい結果がでるので実験していて楽しかった。多くの人によって踏みつけられているグラウンドの土が思っていたとおり、ほかの畑や林の土に比べて呼吸速度が小さかった。土も水や空気のように汚されたり、活動を押さえられたりしていることがわかったのは大変よかったと思う。

これらの感想から、全体的には土壌実習について「おもしろかった」、「楽しかった」というものが多いことがわかった。また、「土壌実習を通じて土が呼吸していることに感動した」、「呼吸速度が土によって異なっていることを発見した」、「土が呼吸していることに驚きを感じた」という感想から土の呼吸を実感している様子がうかがえた。さらに、「土の大切さがわかった」、「土の命を大

切にしていきたい」、「土がきたないと思っていたが誤解だった」、「土も水や空気のように汚されたり、活動を押さえられたりする」、「土の保全が必要である」など土に対する見方や考え方が大きく変わった生徒もいた。

実習を行ったクラスの生徒には実習前に土についてどう見たり、感じているかを書いてもらっているが、それを見ると「よくわからない」というのが約3分の1、「自然」・「植物が根をはっているところ」・「畑やたんぼ」・「校庭」・「きたない」・「コンクリートの下にあるもの」などが約4分の1、残りは何も書いていなかった。これらの記述から、土を表現する言葉が少ないうえに土とは何かということがほとんど把握されていないことが推察された。しかし、実習後には驚くほど土についての知識や関心が豊富となり、実施前とは隔絶の違いであった。

授業の中では、土壌はわずか数cmから数10cmの表土が命であり、これをはぎ取られてしまった土壌はその特性を失ってしまうという話をしたところ、表土がなぜそんなに重要であるかに疑問を持ったり、理解できなかった生徒がいた。土の成り立ちを断面の発達から話し、特に表層土壌のA層の部分で生命活動が活発であること、グラウンドなどの土は表層が削られてつくられていることなどを説明した結果、表土を失わないようにさせることが土壌保全に重要であることに気づいた生徒が多かった。また、私たちをはじめ多くの人間が土というものをあまりにも知らないため土に対して勝手なことをやっつけてしまっているのではないかと強調する生徒もいた。このような質問や疑問などは、実験室で観察などを行っている時は全くなかったものであった。

生徒の中には、実習とは別に自主的にいろいろなところの土壌診断を実施するものがあり、診断結果から土と人とのかわりを考察していた。生物部の生徒たちは、森林や雑木林、グラウンド、駐車場の土壌呼吸速度や動物数（ツルグレン抽出による小動物の数）、土壌のかたさ、落葉の有無などを調べ、比較考察していた（表7）。森林や雑木林の土壌は呼吸速度が大きく、動物数が多く、

表7 ある班の自主活動による土壌調査

調査地点	土壌動物数	土の状態
森林 雑木林	68 95	土壌呼吸が活発で、土壌動物数が多く、落ち葉などの層が厚い。土は軟らかく、ふかふかしている。
グラウンド 駐車場	2 8	土壌呼吸が不活発で、土壌動物がほとんどいない。落ち葉層がなく、土はかたい。

注) 土壌動物数はツルグレン装置により抽出した。表中の数値は匹/土壌100cm³を表す。

落葉層が厚く、軟らかくふかふかしていた。これに対して、グラウンドや駐車場の土は呼吸速度が小さく、動物がほとんど見られず、落葉層がなく、土はかたいことが明らかにされていた。このような授業後の発展は前例がなく、生徒たちは観察や実験・実習に対し、強い関心を持っていることがわかった。小・中・高等学校の学習指導要領理科(1989a, 1989b, 1989c)には自然環境を科学的に探究する態度や自然を観る力、診断する力の育成を図ることが必要であることが指摘されているが、上記のような自主的な活動の育成により、探究する態度などが身につくものと思われる。呼吸速度による土壌診断を行った結果、グラウンドや駐車場の土が不活性なことを知り、人とのかわりに関心を持ったり、人間がかなり土を痛めつけているのではないかと指摘した生徒がいた。また、グラウンドなどの土が生き生きした土となるにはどうしたらよいかを質問した生徒もいた。

4. 土壌呼吸速度の環境教育的効果

各種土壌の呼吸速度を測定した結果から、呼吸速度が大きい土壌では植生が豊かで土壌生物が多く有機物に富んでいる、逆に小さい土壌では植生が乏しく土壌生物がほとんど見られない、有機物の少ない傾向があるなどの呼吸速度と環境の関係が認められた。

このことから、森林や雑木林の土壌は有機物に富み、土壌生物が多く生息する生物活性が高い土であり、駐車場やグラウンド、道路、空き地の土は有機物や土壌生物に乏しい生物活性が低い土と考えられる。グルコース添加により呼吸速度が大きく増加したのは活性が高い土の方であり、ほとんど

増加しなかった土は活性が低い土の方であった。このことから、土壌呼吸速度の大きさにより土壌の活動の様子を調べることができ、有機物添加による呼吸速度の増加率から土壌の潜在的な活性能を知ることができる。そして、いずれの場合も呼吸速度から土壌診断をすることに生徒は強い興味や関心を示したが、土壌診断の方法として適切であるかどうかについては今後さらに検討して行く必要があると考えている。

環境診断及び自然度判定は大気や水質などで指標生物などを使って盛んに行われ、数多く報告されている(津田・森下, 1974; 澤田, 1976; (財)日本自然保護協会, 1985; 原田, 1991; 森下, 1991)。しかし、環境の主要な構成要素の一つである土壌ではほとんど行われていない。土壌は多様な環境要因から成る複雑な系であり、その診断が大変難しいとされている。それ故、土壌そのものを環境診断の指標として扱った事例はほとんど報告されていない。

生徒は、土壌呼吸速度の測定実習により土に大きな関心を持つとともに様々な土壌の呼吸速度を比較することから土壌の違いを学んでいた。また、土壌間の呼吸速度の違いを考察する中で人為による影響に気づき、土壌保全を認識するに至った。実習前は土に関心を示す生徒は極めて少なく、環境問題の中で土壌問題を知っている生徒はほとんどいなかった。これらの点から、土壌呼吸速度の測定実習の環境教育的効果は大変大きかったと言える。

佐島(1992)は、環境教育では主体的・積極的な環境への対応力の育成が大切であり、それには環境を見つめ、環境にふれ、環境をつくる学習行

動を学校教育において計画的に展開する必要があると指摘している。筆者は、自然の中で自然を学ぶことが環境教育の重要なポイントであり、この自然体験を通して自然を肌で感じとり、自然に関心を持つようになっていくと考えている。

丸本(1992)は土を教材として様々な観察・実験を提示しているが、それらの中に土壌呼吸の測定は見られない。しかし、野外での土壌呼吸実験の実践を通して、生徒は土が呼吸していること、土により呼吸速度が異なることなど、土の活性を学んだ意義は大きいと考えている。また、土壌呼吸速度によって環境診断を実施したことから、土への関心を高めるとともに土に対する見方や考え方が実施前と大きく変わったことは大きな成果である。

文献

- ベドロジスト懇談会編, 1984, 土壌調査ハンドブック, pp. 156, 博友社, 東京.
- 原田洋監修, 1991, 中学生版理科自由研究ガイド 自然を調べる, pp. 142, 木馬書館, 東京.
- 福田直, 1986, 生態系における土壌微生物の役割を明らかにする実験システムの確立に関する研究, pp. 38, 昭和61年度文部省科研費補助金研究報告書.
- 福田直, 1987, 土壌の教材化に関する研究—土壌教育の在り方と土壌を使った観察・実験の開発・検討—, pp. 108, 須賀印刷, 埼玉.
- 福田直, 1988a, 土壌の教材化, 第18回関東理科研究発表会千葉大会要項・研究発表会資料.
- 福田直, 1988b, 土壌を使った環境教育—人為的影響の異なる土壌間におけるCO₂発生速度の相違—, 埼玉生物28, 22-24.
- 福田直, 1988c, 土壌を使った観察・実験—土壌呼吸—, 遺伝42(-4), 袋華房, 105-110.
- Fukuda, T., 1990a: Environmental Education in Elementary and Secondary Schools—Present Conditions and Problems as seen from the School Level—, TASAE University of Tsukuba, 117-133.
- 福田直, 1990, 土壌の教材化—土壌を使った観察・実験の実践(1)—, 生物教育30-2, 95-99.
- 福田直, 1994, 身近な土を題材とした環境教育の実践, 環境教育4(-1), 61-66.
- 福田直, 1995a, 土作りの主役 土壌微生物を調べよう(やってみよう理科の最新版), pp. 191, 朝日新聞社, 東京.
- 福田直, 1995b, 小・中・高等学校理科及び生物教育における土の取り扱いのあり方に関する考察, 生物教育34-4, 281-291.
- 桐田博充, 1971, 照葉樹林の土壌呼吸に関する研究, 日生態誌21, 230-244.
- 丸本喜一, 1992, 理科・生活科 教材研究辞典, pp. 587, 初教出版, 東京.
- 文部省, 1989a, 小学校学習指導要領, pp. 122, 大蔵省印刷局, 東京.
- 文部省, 1989b, 中学校学習指導要領, pp. 131, 大蔵省印刷局, 東京.
- 文部省, 1989c, 高等学校学習指導要領, pp. 220, 大蔵省印刷局, 東京.
- 森下雅子, 1991, 生物からのメッセージ 川と湖の博物館 1 植物プランクトン, pp. 156, 山海堂, 東京.
- 守随憲治・今泉忠義・松村明編, 1981, 国語辞典, pp. 1328, 旺文社, 東京.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局監修, 1967, 標準土色帖, pp. 14, 富士平工業, 東京.
- 佐島群巳, 1992, 環境問題と環境教育, pp. 232, 国土社, 東京.
- 澤田正, 1976, アサガオを指標とした環境大気の評価, 遺伝30-7, 18-25.
- 津田松苗・森下郁子, 1974, 生物による水質判定法, pp. 238, 山海堂, 東京.
- Walter, H., 1952, Eine einfache Methode zur Ökologischen Erfassung des CO₂-Factors am Standort, Ber. Dtsch. Bot. Ges., 65, 175-182.
- (財)日本自然保護協会, 1985, 指標生物—自然をみるものさし—, pp. 358, 思索社, 東京.

この研究は、昭和61年度の文部省科研費を受けて行ったものである。