

スギとヒノキ人工林における 土壌呼吸の季節変化

下野 竜志*・武田 博清・岩坪 五郎・堤 利夫

Seasonal Changes in Soil Respiration Rates from the Floor of
Chamaecyparis obtusa and *Cryptomeria japonica* Plantations.

Tatsushi SIMONO, Hiroshi TAKEDA, Goro IWATSUBO,
and Toshio TSUTSUMI

要 旨

京都市山科区の安祥寺国有林内のスギ、ヒノキ人工林に、異なる林齢、立地条件の林分を調査区として選び土壌呼吸量の季節変化、年間の土壌呼吸量を測定した。土壌呼吸速度は、ヒノキ壮齢林で $2.5 \sim 12$ (CO_2 , $\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)、ヒノキ若齢林で $2.5 \sim 13$ 、スギ若齢林で $2.5 \sim 14$ 、斜面上部のヒノキ若齢林で $4 \sim 13$ とすべての調査区において明瞭な季節変化を示した。土壌呼吸速度は、夏に高く、冬に低くなった。土壌呼吸速度と土壌表面温度の間に有意な相関関係が認められた。土壌含水率と土壌呼吸の間には明瞭な関係は認められず、本調査地では温度が土壌呼吸速度変化の主な支配要因となっていた。土壌呼吸速度は温度の上昇とともに指数的に増加し、両者の関係は、 $\log \text{CO}_2 = a + bt$ 、(CO_2 : 土壌呼吸速度, t : 土壌表面温度, a, b : 定数) により近似できた。この式を用いて、各調査区の各月の平均温度から年間の土壌呼吸量を推定した。年間の土壌呼吸量は、斜面下部のヒノキ壮齢林、ヒノキ若齢林で約 4.5 ($\text{C}, \text{t} / \text{ha} \cdot \text{year}$)、スギ若齢林で $4.7 \sim 4.9$ となり、同一の立地条件では林齢、樹種による土壌呼吸量に差は認められなかった。一方、斜面上部のヒノキ若齢林での土壌呼吸量は、約 5.8 ($\text{C}, \text{t} / \text{ha} \cdot \text{year}$) となり、斜面下部の調査区より高い値を示した。これらの結果から、土壌呼吸量は植栽された樹種やその林齢より林分の立地条件、特に土壌条件により異なることが示された。

は じ め に

森林生態系の物質循環を研究する場合、最も重要であり、量的にも主要である元素として炭素をあげることができる。炭酸ガスとして植物により同化された炭素は、個体の生長や維持に用いられる。その後、枯死した植物体は落葉、落枝といったリターとして林床に供給され、土壌の分解系において微生物の活動により無機化される。そうした分解者の活動の結果、炭素は、おもに二酸化炭素として大気中に放出される。このように土壌の表面から大気中に二酸化炭素が放出される現象を土壌呼吸と呼ぶ。

* 現在の所属: 京都府林務部

本研究は文部省科学研究費 (一般研究 A, 課題番号 63440012) による助成を受けて行なわれた。

土壌呼吸は、大きく2つの観点から研究されてきている。その一つは、森林生態系などの生態系の物質循環のパラメーターとして研究されてきている^{1), 2)}。生態系での光合成による同化量に対する土壌での無機化量を表わすパラメーターと考えられている。もう一方で、土壌呼吸は、土壌微生物や動物の代謝量を表わすインデックスとして研究されてきている^{3), 4)}。こうした生態系の物質循環、土壌生物の代謝の研究を通して各種の土壌呼吸の測定法が考察されてきている。わが国では、Walter-Haberの密閉アルカリ吸収法を改良した桐田のスポンジ法が土壌呼吸測定法として広く用いられている^{5), 6), 7), 8)}。この測定法を用いて各種の森林生態系での土壌呼吸が測定されてきている。

本調査は、森林の自己施肥機能についての実験生態学研究の一環として、スギ、ヒノキ人工林の物質循環、特に炭素循環の機能を把握する目的で行なわれた。土壌呼吸をスギ若齢林、ヒノキ壮齢、若齢林において測定した。また立地条件の異なる斜面上部と下部に立地するヒノキ若齢林においても土壌呼吸を測定した。ここでは、土壌呼吸速度の季節変化、年間の土壌呼吸量についての測定結果を報告する。野外調査で、色々と研究協力をされた、村上雅志氏等院生諸氏に感謝を述べます。

調査地の概要

調査地は、京都市東部の山科盆地北側に位置する安祥寺国有林内に設置された。調査地には、尾根部のアカマツ林を除いて斜面部にヒノキ、谷部にスギの人工林が造成されている。地質的には土壌の母岩は秩父古生層に属し、土壌は尾根部で乾性褐色森林土壌 (B_B)、斜面向下部や沢筋では適潤性褐色森林土壌 (B_D) が発達している。

調査地内のスギとヒノキ人工林に調査区を12ヶ所設定した。表1. に調査区の概要を示す。これらの調査区は、スギとヒノキの2造林樹種、若齢と壮齢のヒノキ林、斜面上部と下部のヒノキ若齢林と樹種、林齢、立地条件の異なる林分に設定されている。次下に各調査地の概要を示す。

ヒノキ壮齢林の調査区：AH1とAH2の2つの調査区を隣接して設定した。標高115～125

Table 1. Description of study plots.

Stand		Plos size (m)	Slope (°)	No. of trees (no./ha)	Mean DBH (cm)	Mean H (m)	Basal area (m ² /ha)
<i>Cryptomeria</i> Young (YS)	1	10×20	12	3530	11.9	12.0	52.42
	2	10×20	10	3910	11.2	11.7	20.73
	3	8×20	14	3290	11.6	11.2	46.20
	4	8×20	15	2520	11.7	10.4	35.88
<i>Chamaecyparis</i> Young (YH)	1	8×15	23	4070	8.6	7.6	32.19
	2	8×15	27	3830	8.8	8.0	30.56
	3	9×15	28	4110	7.6	7.1	25.62
	4	8×16	33	5120	7.6	7.3	31.17
	5*	8×20	23	3259 (3191)	9.3 (9.3)	7.0 (7.2)	23.86 (23.63)
	6*	8×20	30	2959	10.3	7.4	24.32
<i>Chamaecyparis</i> Mature (AH)	1	15×25	20	1670 (1280)	17.0 (17.4)	15.4 (15.4)	55.28 (42.88)
	2	15×25	20	1760 (1330)	16.4 (15.4)	14.4 (14.2)*	37.77 (20.01)

April 1986 (* April 1987)

mの北区東側の斜面下部に位置している。林齢は1986年の測定時に35年生であった。調査区には、高木層として植林されたヒノキ以外にタカノツメ (*Evodiopanax innovans*), クリ (*Castanea crenata*), アカマツ (*Pinus densiflora*) がヒノキ林冠の欠けた場所に混っている。下層植生としてヒサカキ (*Euray japonica*), リョウブ (*Clethra barbinervis*), タカノツメ (*Evodiopanax innovans*) が多い。土壌は適潤性褐色森林土 (B_D) に属し, A₀層はモダー型, その厚さは2~3 cm程度であり, その下に約10 cmのA層が発達している。

ヒノキ若齢林の調査区: 林齢は1986年の時点で15年生であった。北向き斜面の上部と下部にそれぞれ調査地を設定した。斜面の上部には隣接して2個の調査区, YH 5とYH 6を, 斜面下部にはYH 1, 2, 3, 4の4調査区を設定した。

斜面上部の調査区 (YH 5, YH 6) では一部分, 樹冠が閉鎖しておらず, そうした場所にヒサカキ, サルトリイバラ (*Smilax China*), ツタウルシ (*Rhus ambigua*), リョウブなどの下層植生が認められる。土壌は乾性褐色森林土 (B_B) に属し, A₀層はモダー型で厚さ2~3 cm, それに続く鉾質土壌A層は2~5 cmで余り発達していない。

斜面下部にYH 1からYH 4までの4調査区を近接して設定した。ヒノキの樹冠は, ほぼ完全に閉鎖し, 林床は暗く, 下層植生は余り発達していない。土壌は適潤性褐色森林土 (B_D) に属し, A₀層はモダー型で約1~2 cm程で, それに続くA層は5~10 cmの厚さである。

スギ若齢林の調査区: 林齢は調査区設定時において15年生であった。スギの樹冠は完全に閉鎖しており, 林床は暗くて, 下層植生は少ない。土壌は適潤性褐色森林土 (B_D) で, A₀層はムル型であり, 林床にはリターが散在している。A層は10~15 cm程度で, 他の調査区に較べて良く発達している。また土壌も他の区に較べて湿っている。

表2. に調査区の土壌温度の月平均値を示す。年平均の土壌温度はYS 1, 2 (スギ若齢林) での9.7℃からYH 5, 6 (ヒノキ若齢林; 斜面上部) での11.1℃と, 斜面下部の湿めった立地条件で少し低い。表3. にヒノキ若齢林の斜面下部調査区 (YH 2) の林外で測定した1987年2月から1988年5月までの月別の降水量を示す。年間の降水量は1368.5 mmであった。

Table 2. Seasonal changes in temperature measured at the soil surface (°C)

month	plot	AH 1, 2	YH 1, 2	YH 3, 4	YH 5, 6	YS 1, 2	YS 3, 4
January		3.45	3.45	3.45	4.15	2.85	3.70
February		2.84	2.84	2.84	3.44	2.24	3.09
March		4.61	4.96	4.96	5.51	4.71	4.71
April		8.45	9.20	8.10	9.60	7.25	7.25
May		13.92	14.12	13.02	14.47	12.32	13.02
June		15.86	16.91	15.81	18.81	15.81	16.51
July		19.03	20.78	19.58	19.93	17.68	19.33
August		20.95	22.05	21.30	19.85	20.15	20.55
September		18.40	19.45	18.75	19.65	18.50	18.75
October		15.25	15.70	15.70	15.80	14.15	15.35
November		11.19	11.19	11.19	11.99	10.19	10.39
December		6.91	6.91	6.91	7.56	5.91	6.11
mean		10.49	10.96	10.56	11.07	9.73	10.26

Table 3. Seasonal changes in precipitation. Measured in the YH 2 plot (15 years old *Chamaecyparis obtusa* site)

month	rainfall (mm)
January	42.5
February	44.5
March	145.0
April	59.0
May	151.0
June	161.0
July	422.5
August	46.5
September	94.0
October	130.5
November	53.5
December	18.5
total	1368.5

調 査 方 法

土壌呼吸の測定を、ヒノキ壮齡林の2調査区 (AH 1, AH 2), ヒノキ若齡林の3調査区 (YH 2, YH 4, YH 6), スギ若齡林の2調査区 (YS 1, YS 3) の合計7調査林分において行った。斜面上部のヒノキ若齡林分において土壌呼吸を1987年5月から1988年5月までの一年間にわたり測定した。他の調査区について、土壌呼吸は、1986年6月から1988年5月までの2年間にわたり測定された。各々の調査区に、幅2 mのベルトランセクトを斜面方向にそって設け、上部から下部に8個の土壌呼吸の測定容器を設置した。

土壌呼吸をWalter-Haberの密閉アルカリ吸収法を改良した桐田のスポンジ法により測定した。土壌呼吸測定の容器はステンレス製の直径150 mm, 長さ250 mmの円筒より成り、その中にアルカリ溶液を浸ませたスポンジを密閉し、二酸化炭素が測定できるように考案されている。ここで用いた円筒の大きさは、桐田のスポンジ法の必要条件を満たしている⁶⁾。スポンジからのKOH溶液の滴下を防ぐために、円筒のステンレス容器の内側に十字形の支持台をつくり、その上に1 mmメッシュのステンレス製のネットを載せてKOHの溶液を浸み込ませたスポンジを置いた。容器を土壌の深さ5 cmまでうめ込み、周囲を土壌で被い自然の状態になるようにして測定を行った。

土壌呼吸は調査期間を通じて1ヶ月おきに測定された。毎月の測定時に、24時間の測定を2日連続して行った。測定時にスポンジ (直径140 mm, 厚さ40 mm) に2規定のKOH溶液20 mlを浸み込ませ、容器内のネットの上に置いた。その後、容器の上面をサランラップで被いアルカリ溶液を外気と遮断した。サランラップのラッピングシートの保護のために容器の上にステンレス製のカバーを置いた。土壌呼吸速度の高くなる6～9月の測定では、桐田法での残余率が0.8を下回らないように、アルカリの濃度を2.5規定、25 mlとした。

測定前のスポンジ内の二酸化炭素ならびに実験操作の過程でのKOH溶液に吸収される二酸化炭素の量をブランクテストから求めた。ブランクテストとして、ふたをした容器3個を用いて、土壌呼吸測定と同様の操作を行った。土壌呼吸測定、ブランクテストのいずれの場合にも、スポンジは24時間後に回収してポリエチレン製の袋に密封して持ち帰り、実験室で0.2規定のHClを用いて2段階滴定を行ない、吸収された二酸化炭素の量を算出した。

一調査区で8地点からの土壌呼吸量が測定されたが、各地点間での土壌呼吸量の値のバラツキは変動係数で20%以下であった。土壌呼吸量は、各調査区について、8測定地点の平均値で示

した。

土壌呼吸速度に影響する要因として、測定時の土壌表面（A₀層の表面）での温度、土壌含水量を測った。土壌表面温度は、自記記録温度計を用いて測定された。土壌の水分条件を測定するために、土壌呼吸の測定開始時と終了時に調査区内で表層土壌を採集し、その土壌含水量を求めた。

結 果

1. 土壌呼吸速度の季節変化

図1と2に土壌呼吸速度と土壌表面温度の季節変化を示す。表4、5に土壌呼吸速度と土壌表

Table 4. Soil temperature measured on each study plot during the soil respiration measurment. A mean temperature over a 24 hours. °C (mean of 24 hours)

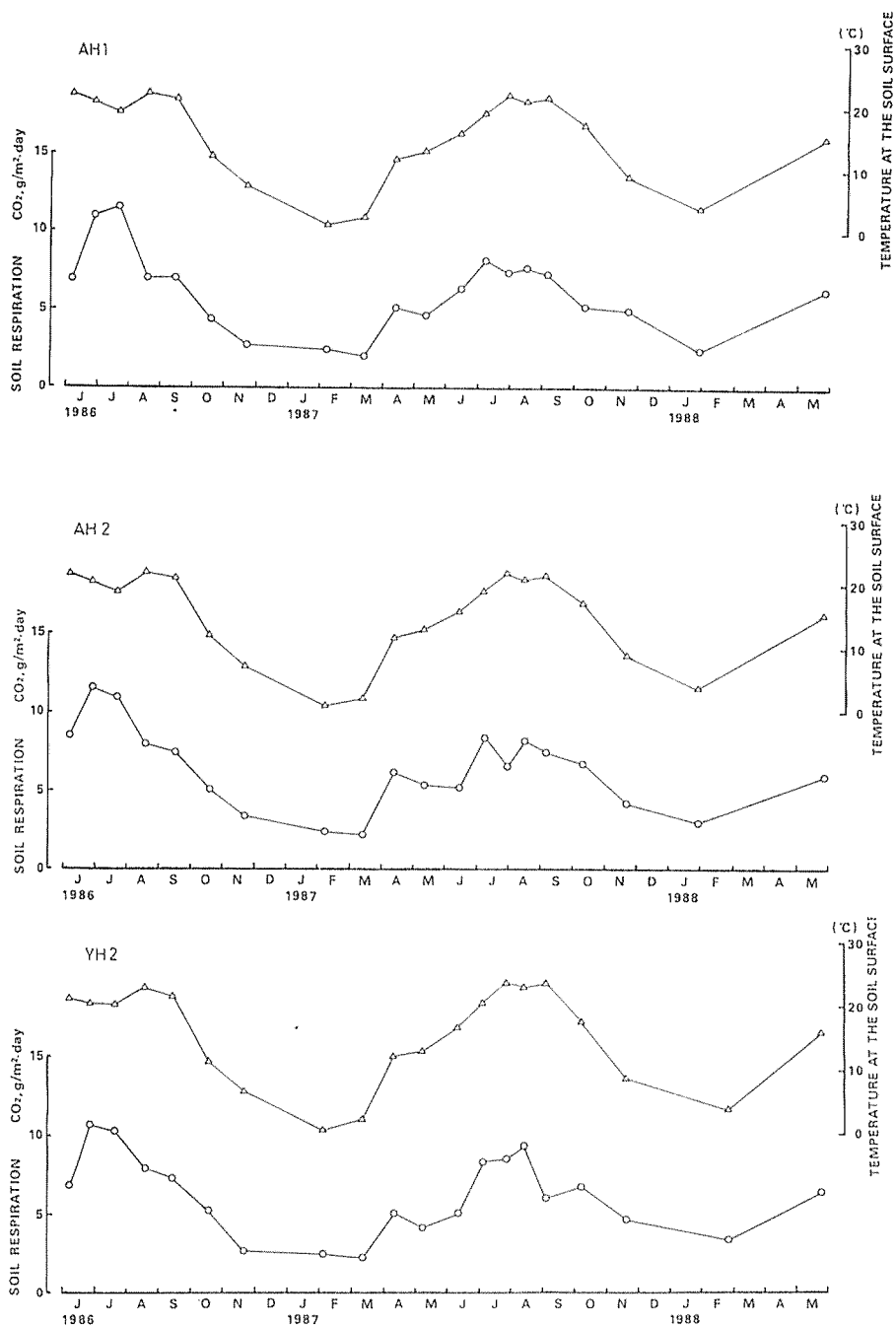
date	Piot	AH 1, 2	YH 1, 2	YH 3, 4	YS 1, 2	YS 3, 4	YH 5, 6
1986							
6/4-5		21.1	20.9	19.8	17.8	19.0	
5-6		22.9	22.2	21.1	19.2	20.4	
25-26		22.1	23.0	21.9	20.5	21.7	
26-27		18.0	18.9	17.8	17.0	18.2	
7/18-19		18.8	19.5	18.4	18.1	19.3	
19-20		19.2	22.0	20.9	19.5	20.7	
8/16-17		21.5	23.3	22.2	20.6	21.8	
17-18		22.4	23.5	22.4	20.9	22.1	
9/12-13		21.1	22.0	20.9	20.5	21.7	
13-14		21.1	21.8	20.7	19.5	20.7	
10/16-17		14.9	14.5	13.4	13.2	14.4	
17-18		9.2	9.0	9.0	7.7	8.5	
11/19-20		6.9	6.8	6.8	5.7	6.5	
20-21		7.3	7.2	7.2	5.9	6.8	
1987							
2/5-6		0.5	0.1	0.1	-0.5	0.3	
6-7		1.5	1.6	1.6	1.0	1.9	
3/10-11		1.5	2.2	2.2	2.4	2.4	
11-12		2.8	2.8	2.8	2.1	2.1	
4/9-10		11.6	12.9	11.8	10.1	10.1	
10-11		11.8	12.0	10.9	10.9	10.9	
5/7-8		12.9	12.8	11.7	11.1	11.6	
8-9		13.2	13.7	12.6	11.8	12.7	
5/23-24		18.0	18.4	17.3	16.4	17.1	19.8
6/10-11		15.5	16.7	15.6	15.6	16.2	18.7
11-12		16.1	17.0	15.9	15.9	16.7	18.8
7/5-6		19.1	20.7	19.6	18.2	19.5	19.9
27-28		21.8	23.7	22.4	20.0	22.0	22.8
8/13-14		20.9	23.1	21.6	19.3	20.1	20.9
9/3-4		21.5	23.6	22.2	21.7	22.2	23.8
10/7-8		18.1	18.2	17.8	16.8	18.7	18.5
8-9		16.4	17.2	16.4	15.5	16.0	17.1
11/19-20		9.2	9.2	9.2	8.2	8.6	10.2
20-21		8.7	8.7	8.7	7.7	7.7	9.3
1988							
2/25-26		3.4	3.5	2.9	3.4	3.2	4.7
26-27		4.0	4.2	4.4	3.4	3.3	4.2
5/25-26		15.9	16.6	16.0	15.4	15.9	16.7
26-27		14.9	15.1	15.0	13.7	14.6	15.7

Table 5. Soil respiration rates during the period from June 1986 to May 1987
(CO₂, g/m²・day)

data	Plot	AH 1	AH 2	YH 2	YH 4	YS 1	YS 3	YH 6
1986								
6/4-5		6.66	8.41	6.94	7.12	6.98	7.70	
5-6		7.15	8.51	6.90	7.72	8.35	7.10	
25-26		11.04	12.11	10.26	11.10	8.89	9.70	
26-27		10.82	10.73	11.22	10.49	8.36	9.46	
7/18-19		10.80	11.00	10.57	10.53	8.18	10.12	
19-20		12.09	10.69	10.11	10.15	8.22	9.61	
8/16-17		6.72	7.64	7.88	6.79	7.03	7.80	
17-18		7.19	8.20	8.05	8.13	9.24	8.75	
9/12-13		7.24	6.79	7.75	8.16	8.70	7.66	
13-14		6.68	7.98	6.98	8.09	7.81	7.37	
10/16-17		5.04	5.64	6.00	4.30	6.08	4.25	
17-18		3.67	4.38	4.58	4.33	5.20	4.80	
11/19-20		3.25	3.99	3.02	1.97	2.63	2.51	
20-21		2.19	2.74	2.51	3.54	4.51	2.94	
1987								
2/5-6		2.13	2.10	3.07	2.98	3.12	2.86	
6-7		2.68	2.58	2.01	2.00	1.43	1.67	
3/10-11		1.37	1.77	2.41	1.70	2.79	1.67	
11-12		2.63	2.56	2.20	3.87	3.39	2.39	
4/9-10		4.96	6.27	5.59	5.30	5.72	6.11	
10-11		5.33	5.89	4.88	5.07	6.13	6.27	
5/7-8		4.46	5.51	4.04	5.45	4.75	3.26	
8-9		4.82	4.94	4.36	4.19	3.82	4.01	
1987								
5/23-24		—	—	—	—	—	—	10.97
6/10-11		7.42	5.20	5.67	7.00	10.47	9.90	13.17
11-12		5.21	5.14	4.73	5.06	6.91	7.18	7.26
7/5-6		8.15	8.36	8.35	11.31	10.32	11.04	13.36
27-28		7.41	6.44	8.48	9.54	11.35	10.54	12.03
8/13-14		7.65	8.07	9.31	7.49	10.41	14.63	10.65
9/3-4		7.27	7.39	6.01	8.53	9.55	7.54	6.82
10/7-8		5.39	6.76	7.79	6.19	6.27	7.77	9.17
8-9		5.04	6.55	5.79	3.89	6.04	4.87	5.37
11/19-20		5.46	5.32	5.07	4.83	4.22	5.34	4.02
20-21		4.58	3.03	4.27	4.83	4.06	3.71	5.47
1988								
2/25-26		2.01	2.72	3.11	2.99	2.90	1.88	4.00
26-27		2.97	3.07	3.68	3.87	3.33	3.06	3.72
5/25-26		6.45	5.83	6.63	6.91	9.67	9.00	10.01
26-27		6.03	5.81	6.20	5.32	9.55	8.64	8.43

面温度の実測値を示す。土壌呼吸速度は、ヒノキ壮齡林（AH 1, AH 2 調査区）で 2.5～12 (CO₂, g/m²・day), 斜面下部のヒノキ若齡林（YH 2, YH 4）で 2.5～13, スギ若齡林（YS 1, YS 3）で 2.5～14, 斜面上部のヒノキ若齡林（YH 6）で 3.7～13 と明瞭な季節変化を示した。

土壌呼吸速度の季節変化は、明瞭に土壌温度の季節変化を反映しており、いずれの調査区においても土壌呼吸は温度の高い時期に大きく、低い時期に少なかった。土壌呼吸速度の季節変化は、

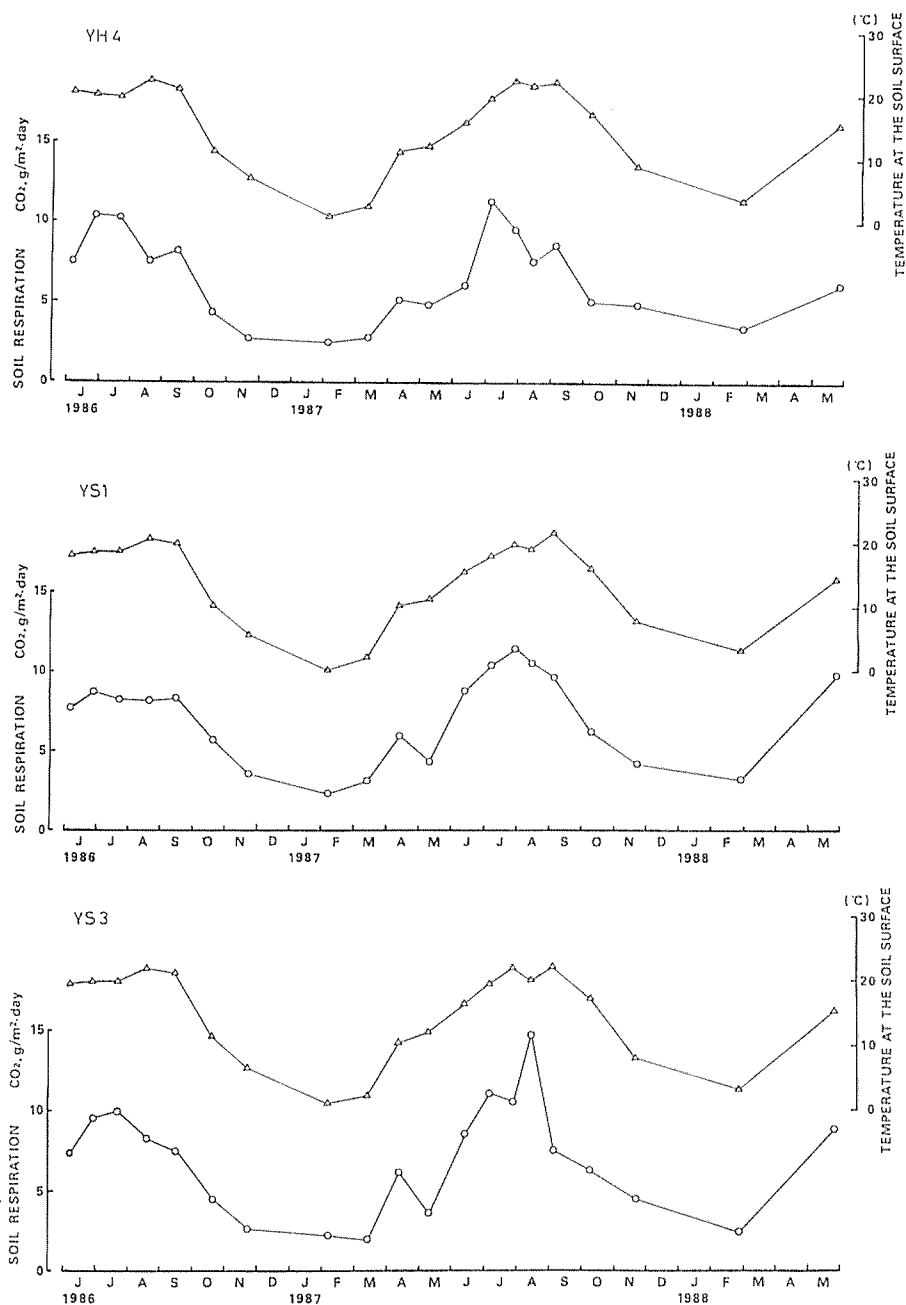


SEASONAL CHANGES OF SOIL RESPIRATION AND TEMPERATURE AT THE SOIL SURFACE

Fig. 1-A Seasonal changes in soil respiration and soil surface temperature at the 3 study plots situated at the lower part of a slope.

AH1 and AH2 : 35 years old *Chamaecyparis* forest.

YH2 : 15 years old *Chamaecyparis* forest.



SEASONAL CHANGES OF SOIL RESPIRATION AND TEMPERATURE AT THE SOIL SURFACE

Fig. 1-B Seasonal changes in soil respiration and soil surface temperature at the 3 study plots situated at the lower part of a slope.

YH4 : 15 years old *Chamaecyparis* forest.

YS1 and YS2 : 15 years old *Cryptomeria* forest.

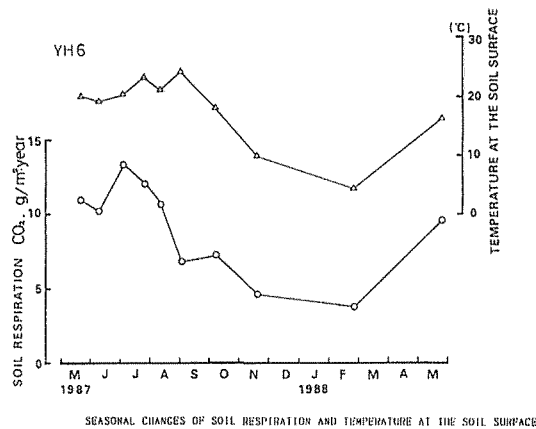


Fig. 2 Seasonal changes in soil respiration and soil surface temperature at the 15 years olds *Chamaecyparis* plot situated at the ridge part of a slope.

土壌表面温度の季節変化によっており、調査区間、また同一調査区での異なる年次間で類似した季節変化の様式を示していた。

2. 土壌呼吸速度と土壌温度の関係

図 3, 4 に土壌呼吸速度と土壌表面温度との関係を片対数グラフで示した。土壌呼吸速度と土壌表面温度の関係は、次式により近似することができた；

$$\log \text{CO}_2 = a + bt \quad \text{..... (1)}$$

ここで CO_2 は土壌呼吸速度 (CO_2 , g / $\text{m}^2 \cdot \text{day}$), t は土壌表面温度, a , b は回帰式の定数。

表 6, に土壌呼吸速度と土壌表面温度の回帰式の定数, 相関係数を示す。また表 6 に温度 10°C 上昇による土壌呼吸量の変化の割合を Q_{10} として示した。相関係数は、一年間の測定しか行なわれていない YH 6 区を除いて, $r = 0.866 \sim 0.899$ と高い値を示す。この結果から、土壌呼吸の季節変動の 70 ~ 80% が土壌温度の変動により説明される。

土壌呼吸速度が温度に依在している場合、温度に対する土壌呼吸速度の変化は、従来 Q_{10} の値により表わされている。 Q_{10} の値は、斜面上部のヒノキ若齢林で 1.68 と他の調査区に較べて低かった。一方、斜面下部に位置する調査区での Q_{10} はヒノキ若齢林の 1.85 からスギ若齢林の 2.08 と、樹種、林齢にかかわらず類似した値を示していた。

3. 年間の土壌呼吸量の推定

土壌呼吸速度と土壌表面温度の回帰式を用いて各調査区での年間土壌呼吸量を推定した。各調査区での各月の平均温度から年間の土壌呼吸速度を推定し、結果を表 7 に示す。年間の土壌呼吸量は、1 年あたり 1 ha からの二酸化炭素の放出量で示した。

年間の土壌呼吸量は、斜面下部に位置する林分では、壮齢ヒノキ林の 15.8, 16.5 から、スギ若齢林の 18.0, 17.1 t / ha · year と林齢、樹種にかかわらず似た値を示していた。一方、斜面上部のヒノキ若齢林での年間の土壌呼吸量は、21.1 t / ha · year と斜面下部に位置する調査林分に較べて高い値を示した。

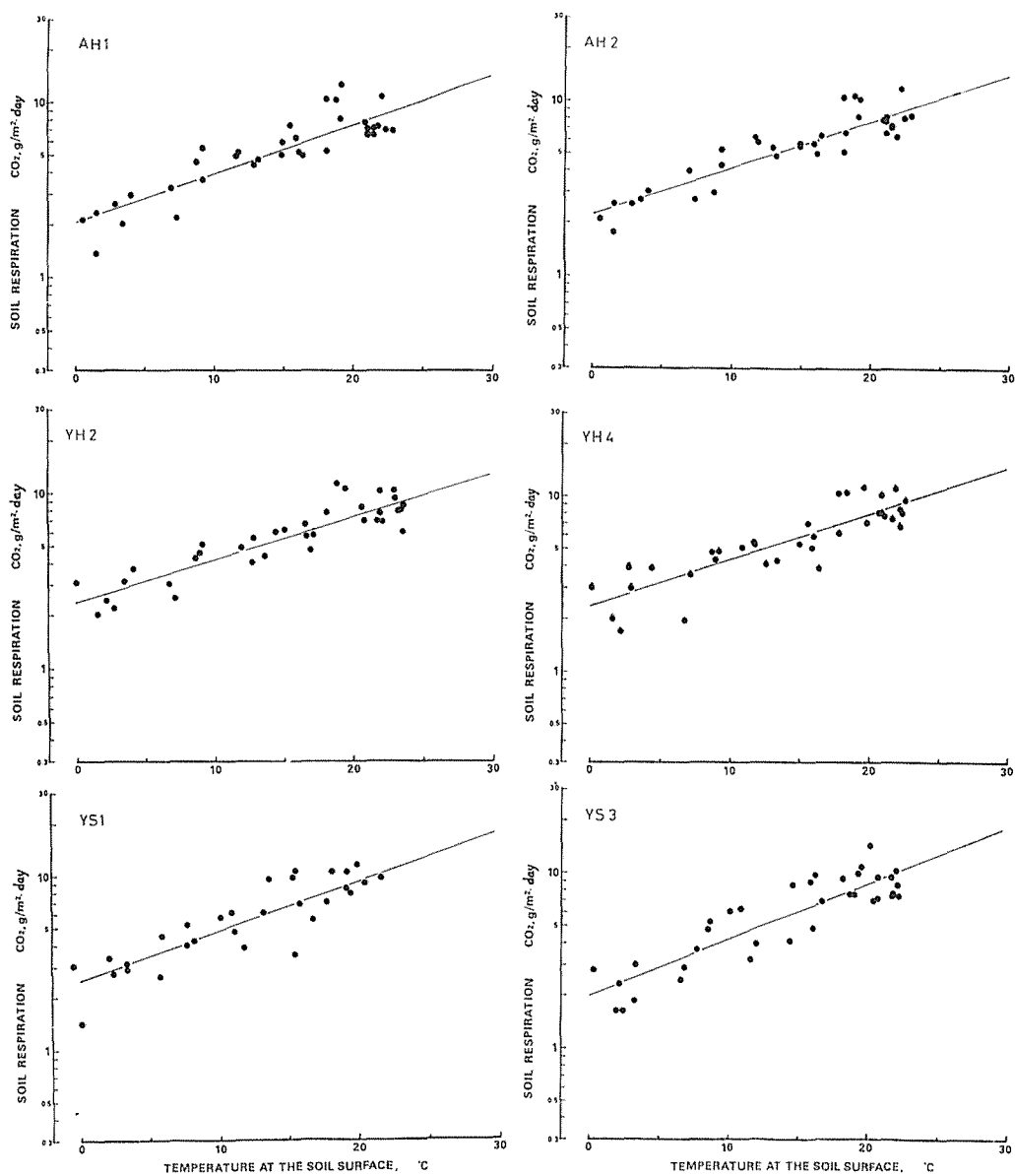


Fig. 3 Relationships between soil temperature and soil respiration in the 6 study plots.

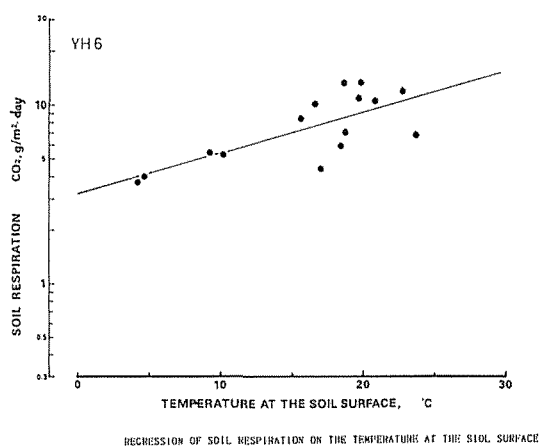


Fig. 4 Relationships between soil temperature and soil respiration in the 15 years olds *Chamaecyparis* plot situated at the ridge part of a slope.

Table 6. Relationships between soil respiration rates and soil temperature

Plot	Constant		Correlation	Q_{10}
	a	b	r	
AH 1	0.315	0.0282	0.882	1.92
AH 2	0.345	0.0274	0.899	1.88
YH 2	0.374	0.0242	0.895	1.75
YH 4	0.370	0.0266	0.875	1.85
YH 6	0.508	0.0225	0.745	1.68
YS 1	0.399	0.0280	0.866	1.91
YS 3	0.306	0.0319	0.888	2.08

a and b: constant of formula (1) see explanation in text. r: correlation coefficients, Q_{10} : increase rates of soil respiration by 10 °C increase of temperature.,

Table 7. Annual soil respiration rates

Plot	mean soil respiration (CO ₂ , g/m ² • day)	annual respiration (CO ₂ , t/ha • year)	annual carbon (C. t/ha • year)
AH 1	4.23	15.8	4.30
AH 2	4.52	16.5	4.49
YH 2	4.53	16.5	4.51
YH 4	4.70	17.2	4.68
YH 6	5.79	21.1	5.77
YS 1	4.93	18.0	4.90
YS 3	4.70	17.1	4.68

考 察

土壌呼吸について、その測定方法を中心にした数多くの研究がなされてきており、土壌呼吸速度の測定法についての問題点が指摘され、改良が成されてきている^{51, 61, 73, 85}。わが国での土壌呼吸の研究には、アルカリ密閉吸収法が広く用いられており、この研究において用いた方法が標準となっている。したがって、ここで得られた土壌呼吸速度の値は、他の地域での研究例と比較することができる。

土壌呼吸速度は、冬に低く夏に高い値を示す明瞭な季節変化を示した。土壌呼吸の季節変化の様式は、林齢（15年生と35年生ヒノキ林）、樹種（ヒノキとスギ）、立地条件（斜面上部と下部）にかかわらず類似していた。ここで見られたと同様な土壌呼吸の季節変化の様式は、すでに多くの森林について報告されている^{91, 101, 111}。土壌呼吸速度の季節変動性が示されてきている^{31, 111}。

本調査において、土壌呼吸速度は土壌表面の温度と有意な相関を示した。土壌の水分条件は、夏の土壌呼吸速度に影響したが、一年を通しての土壌呼吸速度と土壌含水率には、有意な相関はなかった。土壌含水率が、1986年8月に20%近くまで低下した時、すべての林分において土壌呼吸の一時的な低下が認められた。また、斜面上部、下部の若齢ヒノキ林において、夏の土壌堆積腐植層の乾燥による土壌呼吸の低下が認められた。しかし土壌堆積腐植層の乾燥は、土壌呼吸の高い夏期に生じるために土壌呼吸と土壌含水率との間には、有意な相関関係は認められなかった。酒井と堤（1987）は、芦生の冷温帯の天然生落葉広葉樹林での土壌呼吸速度の季節変化を調べ、夏期の乾燥による土壌呼吸の低下現象を見つけているが、一年を通しての土壌呼吸と土壌含水率に有意な関係がないと同様な傾向を報告している。本調査地では、土壌表層土壌の含水率は、通常35～50%の範囲にあり、土壌の水分条件は、夏の乾燥時を除いて土壌呼吸の制限要因として働いていない。

本調査の行なわれたスギ、ヒノキ人工林では、土壌呼吸は主に土壌温度に依存しており、土壌呼吸の季節変動の70～80%は温度の変動により説明された。また、土壌呼吸速度と温度の関係は、指数関数式で表わされ、この式をモデルとして年間の土壌呼吸量を推定できた。一年間の土壌呼吸量は、斜面上部に位置するヒノキ4.4、スギ若齢林で4.8と、推定式の精度を考察すると、林分間で土壌呼吸量に大きな差はなかった。一方、立地条件で比較すると斜面上部のヒノキ若齢林での年間の土壌呼吸量、5.8 (C, t/ha・year) に対して斜面上部のヒノキ若齢林の土壌呼吸量は、4.4 tと低い値を示していた。斜面上部のヒノキ若齢林での土壌呼吸は、下部に較べ約3割大きく、乾性の土壌で炭素の循環速度が大きいことが示された。各種の林分での土壌呼吸の比較から、立地条件、特に土壌条件が土壌呼吸量に大きく影響していることが示された。また、林分の土壌条件が同じであれば、土壌呼吸量は、林齢や樹種にあまり影響されないことが示された。また、本調査での年間の土壌呼吸量の推定値は、4.3～5.8 (C, t/ha・year) の範囲にあり、これは、ヒノキ林（萩原、穂積¹²⁾、1978; Tsutsumi, et al.¹³⁾ 1985) の4.45～6.40、ブナ・モミ林（中根¹¹⁾）の4.94、カラマツ林（萩原等¹⁵⁾）の6.65、などに近い値を示した。

ここで推定した年間の土壌呼吸量は、有機物の無機化と根の呼吸に由来する二酸化炭素の両方を含んでいる。本調査地での根の呼吸量はトレンチ法により推定されており、全土壌呼吸に占める根の呼吸の割合は、約30%と調査林分間において類似している。したがって、全土壌呼吸量から根の呼吸量を差し引いた土壌呼吸量も、全土壌呼吸と同様な林分間での傾向を示すことが示唆される。土壌有機物の無機化に由来する二酸化炭素の発生量は、全土壌呼吸と同様に乾性褐色

森林土に立地する斜面上部の若齢ヒノキ林において斜面下部の林分より高い傾向が示される。また、同一の土壤条件にある斜面下部では、土壤有機物の無機化に伴う土壤呼吸量は、地上部植生の林齢、樹種にかかわらず類似した値を示すことが示唆される。これらの結果から、調査地の土壤呼吸量は、土壤中に蓄積されてきている有機物の無機化量を反映しており、地上部の植生から供給されるリター等の有機物量と関連していないことが示唆された。

引用文献

- 1) 中根 周歩: 森林斜面における土壤有機物のダイナミックス, 日本生態学会誌, 25, 206~216, 1975.
- 2) SCHLESINGER, W.H.: Carbon balance in terrestrial detritus. Ann. Rev. Ecol. Syst. 8, 51~81, 1977.
- 3) ANDERSON, J.M.: Carbon dioxide evolution from two temperate deciduous forest woodland soil. J. appl. Ecol. 10, 361~378, 1973.
- 4) WITKAMP, M.: Rates of carbon dioxide evolution from the forest floor. Ecology, 47, 492~494, 1966.
- 5) 桐田 博充: 野外における土壤呼吸の測定—密閉吸収法の検討 (I) 日本生態学会誌, 21, 15~20, 1971.
- 6) 桐田 博充: 野外における土壤呼吸の測定—密閉吸収法の検討 (II). 測定容器の大きさが測定値に与える影響. 日本生態学会誌 21, 38~42, 1971.
- 7) 桐田 博充: 野外における土壤呼吸の測定値に与える影響. 日本生態学会誌, 21, 42~47, 1971.
- 8) 桐田 博充: 野外における土壤呼吸の測定—密閉吸収法の検討 (IV). スポンジを利用した密閉吸収法の開発. 日本生態学会誌, 21, 119~128, 1971.
- 9) 千葉 喬三・堤利夫: 森林の土壤呼吸に関する研究. (1) 土壤呼吸と気温との関係について, 京大演報 39, 91~99, 1967.
- 10) 千葉 喬三: 森林土壤有機物の無機化速度ならびに森林の土壤呼吸速度の推定に関する研究, 高知大農紀, 27, 1~108, 1975.
- 11) 酒井 正治・堤 利夫: 温帯落葉広葉樹林の2タイプの土壤における炭素収支 (II), 土壤呼吸速度の季節変化とそれに、及ぼす土壤環境要因. 日林誌 69, 41~48, 1987.
- 12) 萩原 秋男・穂積 和夫: ヒノキ人工林の土壤呼吸量. 89回日林学会発表論文集, 191~192, 1978.
- 13) TSUTSUMI, T., NISHITANI, Y., and SAKAI, M.: On the effects of soil fertility on the rate of soil respiration in a forest. Jap. J. Ecol. 35, 207~214, 1985.
- 14) 中根 周歩: 大台ヶ原ブナ・ウラジロモシ林における土壤有機物のダイナミックスとその季節変動, 日本生態学会誌, 25, 206~216, 1978.
- 15) 萩原 秋・鳥居 仁司・穂積和夫・林川孝司: カラマツ人工林の土壤呼吸量の推定とその季節変化. 28回日本林学会中部論集, 43~46, 1980.
- 16) 下野 竜志: スギとヒノキ人工林における土壤呼吸についての研究, 未発表, 京都大学修士学位論文, 1989.

Résumé

Seasonal changes in soil respiration rates were measured in seven study plots chosen in *Chamaecyparis obtusa* and *Cryptomeria japonica* plantations located on the upper and bottom parts of a forest slope in the Anshouji National Forest, Kyoto Prefecture, Japan.

Soil respiration rates were measured over a two year period in the seven plots and showed clear seasonal changes with a summer peak. Seasonal patterns of soil respiration rates were similar among the seven study plots. Seasonal variations soil respiration rates were as follows; 2.5 to 12 (CO_2 , $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$), 2.5 to 13, and 2.5 to 14 in 35 and 15 year *Chamaecyparis* and *Cryptomeria* plots located on the lower part of the slope, and 15

year *Chamaecyparis* plots on the upper part of the slope.

Soil respiration was highly correlated with soil temperature ($r=0.86$ to 0.89) and rates of soil reaperation showed a logarithmic increase in the seven study plots with rising soil temperatures. Neither of the study plots showed a close relationship between soil respiration and soil moisture except during drought conditions in summer.

Cumulated annual totals of carbon dioxide evolution were estimated using the relationships between soil temperature and soil respiration rates and were as follows. On the bottom part of the slope, the annual total carbon was 4.6 (t/ha year), 4.4 , and 4.8 in the 15-year and 35-year old *Chamaecyparis* and in 15-year old *Cryptomeria* plot, respectively. On the upper part of the slope, annual total carbon was 5.5 (t/ha year) in 15 year *Chamaecyparis* plot and was higher than in the 15 year *Chamaecyparis* plots on the lower part of the slope. The present results suggest that the soil respiration rates reflect mainly the mineralization of soil organic matter accumulated in the soil and are independent of litter fall from trees and the productivity of plants.