J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 98, p. 31～39（2004）

植林に伴う耕作放棄棚田の保水容量の変化

篠宮佳樹*・鳥居厚志*・稲垣善之*・山田　毅**

Changes in the Water Holding Capacity of Abandoned Terrace Paddy Fields Following Afforestation

Yoshiki SHINOMIYA*, Atsushi TORII*, Yoshiyuki INAGAKI* and Tsuyoshi YAMADA**

* Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute,
Asakuranishimachi, Kochi 780-8077
** Forestry and Forest Products Research Institute,
Matsunosato, Tsukuba 305-8687

Abstract

Water holding capacity, soil physical properties and organic matter properties in abandoned terrace paddy fields were investigated in order to evaluate the effect of afforestation on water conservation function. We studied 12 abandoned terrace paddy fields where sugi (*Cryptomeria japonica*) or hinoki (*Chamaecyparis obtsusa*) were planted. The stand ages ranged from 12 to 33 years. The water holding capacity and permeability of surface soil in abandoned terrace paddy fields increased with increasing stand age. They became almost equal to those in artificial forests of sugi or hinoki in mountainous area about 30 years after afforestation. The water holding capacity correlated with soil carbon content and can be predicted from the stand age and carbon content at the organic layer by multiple regression analysis. Increase of the stand age indicates increases of litterfall, carbon content in mineral soils and activity of soil fauna. As a result, soil aggregate develops well so that the water holding capacity increases. Comparing similarly aged stands, the water holding capacity and carbon content in mineral soils were greater in lower carbon content at organic layer. This suggests that decomposition of litterfall is important for the water holding capacity. These results suggest that water conservation function in soil of abandoned terrace paddy fields would be elevated following afforestation.

Key words : abandoned terrace paddy fields, afforestaion, water holding capacity, permeability, water conservation function

1.　はじめに

我が国の中山間地域では，減反政策や過疎化などの社会的，経済的要因に加え，労働条件の悪さも影響して，耕作放棄される棚田が増加している。その面積は全国の棚田全体の約 12%（約 2.6 万 ha）と推定されている（中島，1999）。棚田を耕作放棄すると，本来棚田が有する国土保全，水源かん養などの多面的機能の低下が危惧される。このような情勢から，休耕水田や耕作放棄棚田の土壌や植生の変化が報告された（安西・松本，1988；松村ら，1988；太田ら，1996；吉田ら，1997）。また，耕作放棄により畦畔が管理されないと，棚田からのピーク流出量は増加し，洪水調節機能が低下することが明らかにされた（早瀬，1994；千葉ら，1997；増本ら，1997）。

耕作放棄に際して，スギやヒノキなどを植栽し，森林化した棚田も存在する。その面積は全国で約 9,000 ha，耕作放棄棚田のほぼ 1/3 を占める（木村，2002）。一般に森林土壌は大小様々な孔隙を含むため，雨水は土層内に

＊森林総合研究所四国支所　〒780-8077 高知市朝倉西町 2-915
＊＊森林総合研究所　〒305-8687 つくば市松の里 1
キーワード：耕作放棄棚田，植林，保水容量，透水性，水源かん養機能

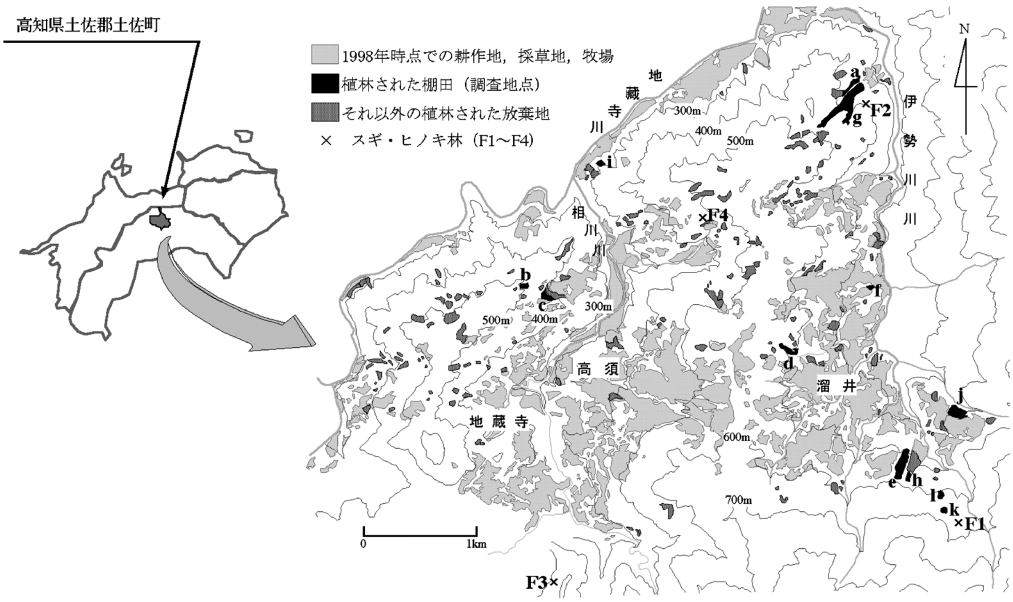


図-1　調査地の位置
Fig. 1　Location of study sites

速やかに浸透するとともに，一時貯留されることで，ピーク流量を緩和させ，流出を平準化する機能があると言われている。これらは水源かん養機能（洪水調節と渇水緩和の効果）と呼ばれる（塚本，1992；藤枝，2001）。棚田を森林化することによって水源かん養等の多面的機能の低下を防ぐことが期待される（牧山・山路，2001）。したがって，耕作放棄棚田に植林がなされた場合の多面的機能を評価する必要がある。森林土壌の孔隙の組成や分布を基に算出される保水容量は森林のもつ水源かん養機能を評価する指標の1つとされてきた（水利科学研究所，1974；有光ら，1995；諫本，2002；浜崎ら，2002）。そこで，本研究では植林に伴う耕作放棄棚田の水源かん養機能を評価するために，スギ・ヒノキが植栽された耕作放棄棚田の保水容量及び土壌特性を明らかにすることを目的とする。

2.　調査及び分析方法

2.1　調査地の概要

調査は高知県土佐郡土佐町溜井（ぬるい）地区，相川地区の植林された耕作放棄棚田で行った。溜井地区から直線距離で約5 km 離れた本山の1979〜2000年アメダスデータによると，年平均気温13.8℃，年降水量2,645 mm である。両地区とも傾斜10〜20°の小起伏山地で，表層地質は御荷鉾緑色岩類である。調査地として，植林された耕作放棄棚田12筆（10筆はスギ林，2筆はスギ・ヒノキ混植），対照として棚田近辺の山地にある約30〜50年生のスギ・ヒノキの人工林4地点（以下，スギ・ヒノキ林と記す）を選定した（図1）。林齢は植栽木を伐採し年輪から判読するか，所有者から聞き取りによって推定した。その結果，2001年における林齢は12〜33年の範囲にあった。本報で調査した12筆の耕作放棄棚田については，1970年代に植林された箇所が多く，減反政策がはじまった時期と一致する。その当時，減反対策として棚田への植林が行われたと推察される。調査を行った耕作放棄棚田（1筆）の平均的な大きさは400 m^2（40×10 m）で，そのほぼ中央で土壌断面調査を行った。土壌断面の各層位から円筒試料（400 mL 採土円筒；A＝100 cm^2；H＝4 cm）をA層より2個，B層以下の層位からは1個採取した。棚田に植栽されていたスギ（林齢28〜31年）の平均樹高は20〜23 m（酒井ら，2004）で，この地域の収穫表（高知営林局，1967）に記された林齢30年のスギ（地位1等）の平均樹高（18 m）より大きかった。このことから，棚田に植栽されたスギの樹高成長は良好と判断された。

2.2　保水容量

採取した円筒試料について，河田・小島（1979）に従って土壌物理性の分析を行った。飽和透水係数の測定に定水位法，孔隙解析に砂柱法（0〜−3.1 kPa），加圧法（−3.1〜−49.1 kPa）を用いた。本調査地では有効な土層深が概して浅かったため，深さ30 cm までを対象にして

表-1　代表土壌の断面形態
Table 1　Soil profiles of afforested terrace paddy fields

調査地点	層位	深さ cm	土色	硬度 mm	土壌構造*	根**				視覚による礫の含有率 %
						大	中	小	細	
b（林齢13年）	A	0–12	10YR4/3	10	SB	N	V	V	F	—
	C1	12–29	7.5YR4/4	21	—	N	N	N	V	80
	C2	29–40＋	—	31.8	—	N	N	N	N	90
g（林齢28年）	A1	0– 3	7.5YR2/2	2.2	SB, CR	N	N	V	V	—
	A2g	3–15	5Y4/2	13	SB	N	N	V	F	—
	B	15–20	7.5GY6/1, 10YR6/6	14.6	MA	N	N	V	V	—
	C	20–55＋	2.5Y5/2	15.6	—	N	N	V	V	90
j（林齢30年）	Ag	0–11	2.5Y4/3	12.4	SB, MA	V	V	F	F	—
	B	11–18	10YR4/4	16	AB	N	V	V	F	—
	C	18–50＋	10YR4/6	16.6	—	N	V	V	V	50

*AB：角塊状，SB：亜角塊状，CR：団粒状，MA：壁状
**根の太さ（直径）：大，＞5 mm；中，2〜5 mm；小，0.5〜2 mm；細，＜0.5 mm
根の量（小根，細根に関しては10 cm四方の根の数で表す）：F, 20〜50本；V, 1〜20本；N, 0本

保水容量を次式により算定した。

$$S=\Sigma(P_i\times H_i\times F_i)/100 \quad (1)$$

S：調査断面の保水容量（mm）

P_i：土壌層位iの−0.4〜−49.1 kPaに相当する孔隙率（%）

H_i：土壌層位iの厚さ（mm）

F_i：土壌層位iの補正係数

このうち，P_iは透水・排水性は高いが，毛管張力が弱く，保水効果はない粗大な孔隙と強い毛管力を受けて，水資源としては期待できない孔隙を考慮し決められ，上記の水分ポテンシャル範囲の孔隙率を使うのが一般的である（竹下，1985など）。F_iは土層に含まれる石礫の影響を補正するためのもので，有光ら（1995）を参考にした。つまり，円筒試料の石礫が視覚で評価した層位の石礫の含有率と

① 概ね同じ場合，$F_i=1$とする。
② 明らかに異なる場合，(2)式よりF_iを求めて補正した。

$$F_i=\{100-(G1_i-G2_i)\}/100 \quad (2)$$

$G1_i$：土壌層位iの視覚評価による石礫含有率（%）

$G2_i$：土壌層位iの円筒試料による石礫含有率（%）

なお，大孔隙率，中孔隙率，小孔隙率，細孔隙率はそれぞれ0〜−0.4 kPa，−0.4〜−6.2 kPa，−6.2〜−49.1 kPa，−49.1 kPa以下の孔隙率である。大孔隙率は飽和処理によっても水が保持されることのない孔隙の割合で，河田・小島（1979）の最小容気量に相当する。圃場容水量は−6.2 kPa時の体積含水率である。また，A層における飽和透水係数は幾何平均を，A層の飽和透水係数以外の測定項目は算術平均を代表値とした。

2.3　土壌有機物特性

堆積有機物層（Ao層）の炭素貯留量，鉱質土層の炭素貯留量，全炭素貯留量（Ao層と鉱質土層の炭素貯留量の合計）の算定のため，Ao層に25 cm×25 cmの方形区を1筆あたり3ケ所ずつ設けAo層試料と層位毎に土壌試料を採取した。Ao層試料は75℃で3日間乾燥した後，乾燥重量を測定した。それらの粉砕試料の炭素含有率をNCアナライザー（住化分析センターNC-800）により測定した。Ao層の炭素貯留量はAo層の乾燥重量と炭素含有率の各平均値を乗じて求めた。鉱質土層の炭素貯留量は深さ30 cmまでを対象に高橋（2000）に従って算定した。鉱質土層の炭素貯留量について石礫の影響を保水容量と同様の方法で補正した。

3.　結　　果

3.1　土壌断面形態

植林された耕作放棄棚田の代表的な土壌断面の形態的特徴を表1に示す。A層（以下，表層土と記す）には植栽木の生根が多数存在していた。分布密度は低下するもののB層以下の層位（以下，下層土と記す）にも植栽木の生根が観察された。林齢13年の地点**b**より林齢28年，30年の地点**g**，**j**のほうで下層土の生根の分布が多く認められ，写真1に示すように，地点**j**の耕作放棄棚田（林齢30年）では深さ1 m以上でも植栽木の根の伸張が確認された。表層土の土壌構造について，亜角塊状

写真-1　耕作放棄棚田植栽木の根の分布

Photo. 1　Distribution of root of a plantation tree in abandoned terrace paddy fields

構造が最も多く認められ，粒状構造も数ケ所で認められた。また地点 **j** のように，亜角塊状構造の他にマッシブな壁状構造が認められる地点も少なくなかった。表層土の土性は，現地で判定した限りでは，いずれも埴土（Clay）で，調査地点間の違いはなかった。表層土では石礫はほとんど含まれていなかったが，下層土は堅固で石礫が多かった。地点 **i, k, l** を除くと，深さ12〜35 cmでC層またはBC層となっていた。表層土の土色（色相）について，12筆のうち約2/3が2.5〜5Yで，残りは7.5〜10YRであった。スギ・ヒノキ林は7.5〜10YRであった。高知県農業技術センター（1995）によると，溜井地区の耕作中の棚田の作土では5Y，ないしは10YRであった。つまり，植林された耕作放棄棚田の表層土の土色はスギ・ヒノキ林のそれよりも黄色味を帯び，耕作中の棚田に近い性質を示す地点が多かった。

3. 2　保水容量，表層土の透水性及び土壌物理性

表2に植林された棚田の表層土の飽和透水係数，保水容量，土壌物理及び有機物特性の測定結果を示す。保水容量は表層土の容積重，大孔隙率，中孔隙率，飽和透水係数に有意な相関関係が見られ，林齢との相関が最も高かった（表3）。表層土の飽和透水係数は林齢及び表層土の容積重と相関が高かった（表4）。大孔隙率との相関係数は $R=0.53$ と有意ではなかったが，地点 **d** を除くと相関係数は $R=0.77$ となることから，表層土の飽和透水係数は大孔隙率との相関が高かった。林齢と保水容量の関係をみると，林齢が増加するとともに保水容量は増加する傾向が認められた（図2，$R^2=0.67$，$p<0.001$）。図3のように保水容量を表層土と下層土に分けて経年変化をみると，表層土について林齢増加に対して保水容量がほとんど変化しない場合と増える場合があった。下層土では，林齢20年以下の保水容量は10 mm以下，林齢30年程度の保水容量は20 mm前後と林齢増加とともに増える傾向がみられた。各筆ごとに表層土と下層土の保水容量を比べてみると，林齢20年以下では下層土の保水容量は表層土に比べてかなり小さい。これに対し，林齢30年程度では下層土の保水容量は増加し，表層土のそれに劣らなくなっていた。そのため，林齢増加とともに保水容量に占める下層土の割合が高くなる傾向があった。これは，先に表層土が，それに続いて下層土が変化して保水容量が増加することを示していると考えられる。中孔隙（−0.4〜−6.2 kPa），小孔隙（−6.2〜−49.1 kPa）の孔隙別保水容量を図4に示す。表層土の小孔隙保水容量は林齢増加に対してあまり変化していなかったが，中孔隙保水容量は概ね増加していた。この傾向は下層土も同じであった。

表層土の透水性について，地点 **a** 及び **b**（林齢12及び13年）の飽和透水係数は $4〜6\times10^{-3}$ cm/s（＝144〜216 mm/h）で，林齢25年以上の全地点で 1×10^{-2} cm/s を超えていた（表2）。植林された耕作放棄棚田の飽和透水係数は近隣のアメダス観測点，本山で1979年以降に観測された最大1時間雨量（102 mm/h）よりも大きかった。吉川（1999）が示した溜井地区の耕作中の棚田の飽和透水係数（1.9×10^{-3} cm/s）も参考にして，植林後林齢が増加するにつれて飽和透水係数は増加する傾向が認められた（図5，飽和透水係数を対数変換後，直線回帰；$R^2=0.61$，$p<0.001$）。一方，スギ・ヒノキ林のA層の飽和透水係数の測定結果は $3〜7\times10^{-2}$ cm/s（平均 5×10^{-2} cm/s）であった。

3. 3　土壌有機物特性

保水容量と土壌有機物特性の相関関係をみると，Ao層の炭素貯留量は相関がみられなかったが，全炭素貯留量，鉱質土層の炭素貯留量，表層土の炭素含有率に正の相関が認められた（表3）。このことから，鉱質土層における炭素蓄積が多い場所では保水容量が大きいことが示唆された。なお，全炭素貯留量に占める鉱質土層の炭素貯留量の割合は78〜99%（12筆平均で90%）で，炭素の大部分は鉱質土層に存在していた。一方，表層土の飽和透水係数（対数）はAo層の炭素貯留量と有意な相関が認められたが，全炭素貯留量，鉱質土層の炭素貯留量，表層土の炭素含有率とは認められなかった（表4）。これらのことから，表層土の飽和透水係数は保水容量ほど土

表-2　植林された棚田の保水容量，土壌物理特性及び土壌有機物特性の測定結果

Table 2　Results of the water holding capacity, soil physical properties of surface soil（A-horizon）and soil organic matter properties in terrace paddy fields following afforestation

Site	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**	**g**	**h**	**i**	**j**	**k**	**l**
植栽樹種	スギ	スギ	スギ	ヒノキ，スギ	スギ	スギ	スギ	スギ	スギ	スギ	スギ	ヒノキ，スギ
林齢（年）	*12*	*13*	*20*	*23*	*25*	*26*	*28*	*28*	*29**	*30*	*31**	*33*
保水容量（mm）	30	25	28	44	46	51	40	45	36	50	49	61
AW（mm）	22	18	27	27	27	44	32	34	19	23	22	39
BW（mm）	8	7	1	17	19	7	8	11	17	27	27	22
KS（cm/s）	5.7×10^{-3}	4.6×10^{-3}	2.1×10^{-2}	8.1×10^{-3}	1.9×10^{-2}	5.1×10^{-2}	1.1×10^{-2}	4.2×10^{-2}	2.2×10^{-2}	4.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	3.3×10^{-2}
BD（Mg/m^3）	0.84	0.99	0.85	0.71	0.76	0.64	0.69	0.62	0.83	0.60	0.73	0.69
LP	0.04	0.05	0.08	0.18	0.07	0.22	0.07	0.12	0.07	0.16	0.07	0.12
MP	0.12	0.09	0.08	0.11	0.10	0.14	0.11	0.14	0.12	0.15	0.10	0.17
SP	0.08	0.06	0.07	0.05	0.08	0.06	0.10	0.09	0.07	0.06	0.07	0.09
FP	0.44	0.43	0.45	0.37	0.46	0.36	0.46	0.40	0.40	0.40	0.48	0.34
FC	0.52	0.49	0.52	0.42	0.53	0.41	0.56	0.49	0.47	0.46	0.55	0.43
TC（t/ha）	34	22	58	55	72	40	57	59	59	52	78	89
SC（t/ha）	34	20	52	53	68	31	48	52	50	44	72	86
OC（t/ha）	0.4	2.3	5.9	1.8	4.2	8.6	9.3	6.7	8.8	7.8	5.7	3.2
CC（g/kg）	29	14	34	32	48	20	55	48	27	40	53	65

AW, 表層土（A 層）の保水容量 ; BW, 下層土（B 層以下）の保水容量 ; KS, 表層土（A 層）の飽和透水係数 ; BD, 表層土（A 層）の容積重 ; LP, 表層土（A 層）の大孔隙率（0〜−0.4 kPa）; MP, 表層土（A 層）の中孔隙率（−0.4〜−6.2 kPa）; SP, 表層土（A 層）の小孔隙率（−6.2〜−49.1 kPa）; FP, 表層土（A 層）の細孔隙率（−49.1 kPa 以下）; FC, 表層土（A 層）の圃場容水量（−6.2 kPa の体積含水率）; TC＝SC＋OC ; SC, 鉱質土層（深さ 30 cm）の炭素貯留量 ; OC, 堆積有機物層（Ao 層）の炭素貯留量 ; CC, 表層土（A 層）の炭素含有率 ; *，所有者からの聞き取り

表-3　保水容量と土壌物理及び土壌有機物特性の相関係数

Table 3　Correlation coefficient between water holding capacity and soil physical and organic matter properties

	林齢	BD	LP	MP	SP	FP	FC	KS†	TC	SC	OC	CC
保水容量（mm）	0.82**	−0.81**	0.59*	0.71*	0.12	−0.52	−0.42	0.70*	0.67*	0.64*	0.22	0.63*

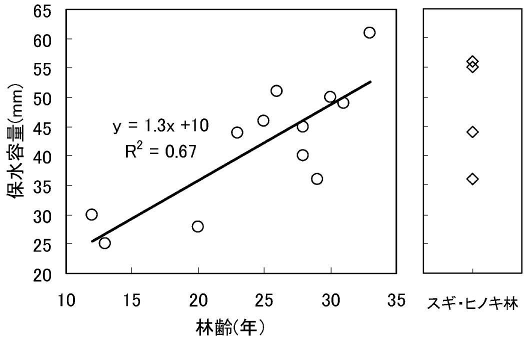
**，$p<0.01$; *，$p<0.05$; †，KS は対数変換後の値を使用
記号は表-2 で使用されたものと同じ

表-4　表層土の飽和透水係数と土壌物理及び土壌有機物特性の相関係数

Table 4　Correlation coefficient between saturated hydraulic conductivity of surface soil and soil physical and organic matter properties

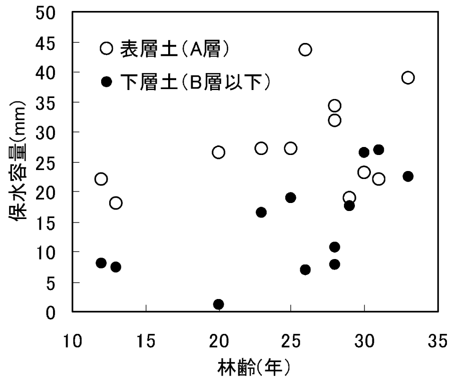
	林齢	BD	LP	MP	SP	FP	FC	TC	SC	OC	CC
KS†	0.78**	−0.72**	0.53	0.53	0.05	−0.33	−0.28	0.53	0.43	0.64*	0.39

**，$p<0.01$; *，$p<0.05$; †，KS は対数変換後の値を使用
記号は表-2 で使用されたものと同じ



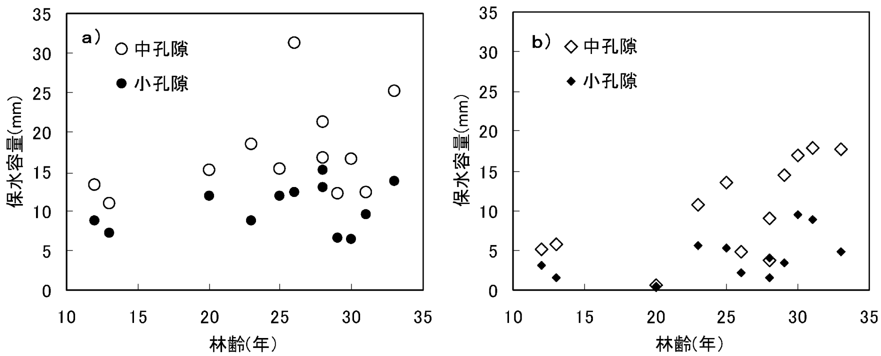
図–2　植林に伴う耕作放棄棚田の保水容量の変化

Fig. 2　Change in water holding capacity of abandoned terrace paddy fields following afforestation



図–3　植林に伴う耕作放棄棚田の表層土及び下層土の保水容量の変化

Fig. 3　Change in water holding capacity at surface and subsurface layer of abandoned terrace paddy fields following afforestation



図–4　植林に伴う耕作放棄棚田の中孔隙及び小孔隙保水容量の変化

Fig. 4　Change in water holding capacity of middle and small pore of abandoned terrace paddy fields following afforestation at (a) surface and (b) subsurface layer

壌有機物の影響が強くないと推定される。

林齢と併せて土壌有機物特性が保水容量に及ぼす影響を解析するため，説明変数として林齢と土壌有機物特性を組み合わせて重回帰分析を行った。その結果，林齢とAo層の炭素貯留量を説明変数としたとき，有意な式が得られた。以下に重回帰式を示す。

$Y = 1.7 \cdot X_1 - 1.6 \cdot X_2 + 7.9$　($R^2 = 0.79$)

Y, 保水容量（mm）; X_1，林齢（年）; X_2，Ao 層の炭素貯留量（t/ha）

X_1，X_2 の F 値はそれぞれ 31.8（$p < 0.001$），5.2（$p < 0.05$）であった。なお，地点 **d** 及び **l** はスギ・ヒノキの混植林であるが，ヒノキ林では Ao 層重量が小さい傾向がある（高橋，1995）。ヒノキ林の年間リターフォール量について樹種による顕著な相違は認められていないこと（齋藤，1981；三浦，2000）や砕片化しやすいというヒノキの葉の性質を考慮すると，ヒノキのリターは速やかに分解され，土壌に蓄積されている可能性が考えられる。そのような考えに基づき，本報ではスギ林とスギ・ヒノキ混植林を区別せずに取り扱った。

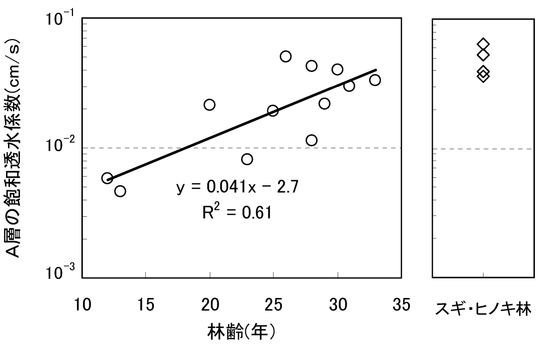


図-5　植林に伴う耕作放棄棚田の表層土（A層）の飽和透水係数の変化

Fig. 5　Change in saturated hydraulic conductivity of surface soil (A-horizon) of abandoned terrace paddy fields following afforestation

4. 考　　察

4.1　植林に伴う耕作放棄棚田の水源かん養機能の変化

図2に示されたように，植林された耕作放棄棚田の保水容量は林齢とともに増加した。保水容量は降雨時に実際貯留される量ではなく，毛管力により水を貯留し，流出の平準化に寄与すると考えられる土壌中の空間の総量を表したものである。保水容量が増加したということは，雨水を貯留する空間が増えたことを意味している。保水容量と実際の河川流量の関係について，有光ら（1995）は隣接する2流域で土壌孔隙に基づく保水容量と河川の流況特性を比較し，水源かん養機能が高いとされる流域で保水容量が大きいことを示した。また，土壌孔隙に基づく保水容量と既存のダム流量データを基に推定した流域保水容量はほぼ同じレベルの値を示したことが報告されている（加藤・堀田，1995）。このように，保水容量と実際の河川の流量特性の関係も解明されつつある。植林された耕作放棄棚田の表層土の透水性は当該地域で観測された雨量強度より高いことが示された。このことから，地表に達した雨水は土層内へ速やかに浸透すると考えられる。表層土の高い透水性は雨水貯留の場である土層内へ雨水を誘導するプロセスが十分機能することを示唆している。以上のように保水容量の増加と表層土の高い透水性から，植林によって耕作放棄棚田の土壌がもつ水源かん養機能は向上した可能性が高いと考えられる。棚田は畦畔に囲まれた田面に雨水を貯留することで，洪水調節機能を発揮してきたが，耕作放棄により管理されなくなるとその効果は低下する（早瀬，1994）。植林により土壌の保水容量が増加すれば，機能を発揮する場所は田面から土壌へと移動するものの洪水調節機能は維持されていくと考えられる。

深さ30 cmまで積算した保水容量については植林後およそ30年経過した地点とスギ・ヒノキ林はほぼ同じ程度になっており，表層土の透水性についてもほぼ同様の年数でスギ・ヒノキ林のそれと同じ程度になっていた。表層土については保水容量及び透水性は約30年以上経過すれば森林とほぼ同じ程度にまで回復すると考えられる。本報で調査した範囲では耕作放棄棚田の土層は概して浅かった。しかし，下層土にも根の伸張が認められており，それに伴い耕盤層の消失や土壌構造の発達など下層土の物理性の変化が示唆される。今後，下層土の詳細な調査が必要である。

4.2　保水容量の影響要因

林齢の増加に伴い，保水容量が増加した要因を孔隙の大きさから考えると，小孔隙より中孔隙の寄与が大きいと考えられる（図4)。保水容量と土壌物理性のうち，大孔隙率や中孔隙率と相関がみられた（表2)。表層土の飽和透水係数は林齢だけでなく，大孔隙率とも相関が高かった。このことは林齢増加とともに表層土の大孔隙が増えていることを示唆する。以上のことから，保水容量の増加は比較的大きな土壌孔隙が形成されたことに起因している。そのような粗大な孔隙の形成理由として以下の要因が考えられる。①林齢が増加するにつれて地表に供給されるリターフォールが増加し（齋藤，1981；三浦，2000)，土壌微生物・動物による分解を経て鉱質土層に有機物が蓄積される。また，根の伸張・枯死の繰り返しも鉱質土層の有機物の増加に寄与する。土壌有機物の増加により土壌構造がより安定する他，土壌微生物・動物の生息が促進される。②嫌気的な土壌環境の改善や土壌有機物の増加などによって，ミミズなどの土壌動物の生息が増え，それらの活動によって土壌構造が発達する。③耕作放棄され，田面へ水の供給が停止すると，乾燥収縮して土壌に亀裂が発生する（井上ら，1987など)。このような亀裂や腐朽した根等から粗大な孔隙が形成される。④下層土への根の伸張は土壌の乾燥等を通じて土壌構造の形成に寄与する（河田，1989)。以上のような作用が時には相互に関与しあい，保水容量は増加したと考えられる。

Ao層の炭素貯留量と鉱質土層の炭素貯留量及び保水容量の関係をみると，ほぼ同じ林齢である8筆（林齢25〜33年）では，Ao層の炭素貯留量が少ない地点で鉱質土層の炭素貯留量や保水容量が大きい傾向が認められた（図6，図7)。これらは，同じ林齢であれば，堆積有機物が少ない，すなわち速やかに分解するほうが，土壌有機物は増加し（図6)，さらに土壌有機物の増加や土壌動物

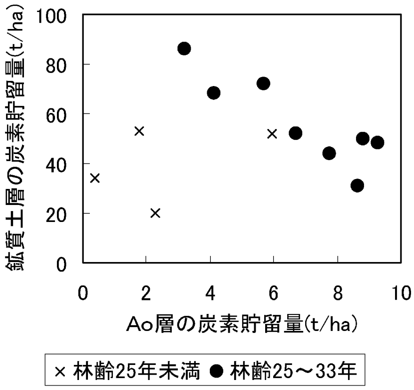


図-6　Ao 層の炭素貯留量と鉱質土層の炭素貯留量の関係

Fig. 6　Relationship between carbon content at organic layer (Ao-horizon) and soil carbon contents

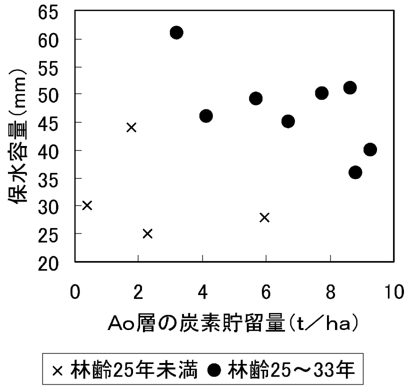


図-7　Ao 層の炭素貯留量と保水容量の関係

Fig. 7　Relationship between carbon content at organic layer (Ao-horizon) and water holding capacity

活動の活発化を通じて保水容量が増加する（図 7）ことを表していると推察される。以上のことから，堆積有機物の分解が保水容量に及ぼす影響は大きいと予想される。Ao 層の炭素貯留量はリターフォールの供給と土壌微生物・動物による堆積有機物の分解のバランスを反映している。土壌微生物・動物の活動には温度，水分条件が影響する。今回の調査地点は約 4 km 四方内にあり，温度条件に著しい差はないと考えられるが，一部の棚田で表層土の土色が耕作中の棚田に近いことから，水分条件に関して植林後も土壌が過湿な環境にあった可能性が示唆された。太田ら（1996）や安西・松本（1988）は耕作放棄棚田が放棄後も湿潤な環境に置かれる場合があることや透水性等の土壌物理性は土壌の乾湿状態に影響されることを指摘している。このような耕作放棄棚田の実態を考慮すると，本報で調査した耕作放棄棚田でも，過湿な環境で有機物の分解が抑制されていた可能性がある。そのため，鉱質土層の炭素貯留量の増加が抑制されたり，土壌動物活動や根の伸張を妨げられた結果，土壌構造が発達せず，保水容量の増加が緩慢になったりすると推察される。そのような場合，植林された耕作放棄棚田の保水容量をできる限り速やかに増加させるという観点から，土壌の排水を良好にし，過湿な状態にならないよう管理することが望まれる。

本研究では植林がなされた耕作放棄棚田を対象としているが，太田ら（1996）は全く人為を加えず放置された耕作放棄棚田を調査している。その結果，放棄後 12 年及び 20 年経過の耕作放棄棚田で透水性（乾状態）は 10^{-2} cm/s（対照区 10^{-4} cm/s），粗孔隙率（0～－6.2 kPa）が 0.16～0.23（対照区 0.09～0.11）と，透水性の増大と孔隙の増加が進むことを示している。本報の結果でも林齢増加に伴う透水性の増大傾向，粗大な孔隙の増加傾向が認められた。放棄後の土地利用形態の違いによる土壌特性や多面的機能の相違について本研究では明らかでないため，今後検討する必要がある。

5.　ま　と　め

耕作放棄棚田の植林に伴う水源かん養機能の変動を明らかにするために，スギ・ヒノキが植林された耕作放棄棚田の保水容量，土壌物理性，土壌有機物特性を調査した。以下に結果を要約する。

1）　林齢の増加とともに，植林された耕作放棄棚田の保水容量は増加し，約 30 年以上経過すると山地のスギ・ヒノキ林と概ね同じ程度にまで回復した。このことから，植林によって耕作放棄棚田土壌がもつ水源かん養機能は向上した可能性が高いと考えられる。

2）　植林された耕作放棄棚田の保水容量は土壌有機物と相関があり，林齢と Ao 層の炭素貯留量を説明変数とする重回帰式で説明可能であった。堆積有機物が分解し，土壌に蓄積されるプロセスが保水容量に重要であると推察された。

謝　　　辞

森林総合研究所吉永秀一郎氏には研究の端緒でお世話になった他，研究遂行に有益なご助言を賜った。同多摩森林科学園田淵隆一氏には植栽木の年輪解析に関して，同四国支所弘田孝行技官，門田春夫技官には植栽木の伐

採にご協力いただいた。土佐町役場の川井健一さん，上村明弘さんには所有者の調査等でお世話になった。長野昌幸さんをはじめとして，土地所有者の皆様には調査にご協力いただいた。以上の方々に感謝の意を表します。本研究は森林総合研究所運営費交付金プロジェクト（課題番号：199902）「四国傾斜地に対応した野菜・花き等の集約的生産技術の確立」により実施された。

引　用　文　献

安西徹郎・松本直治（1988）：水田の休耕にともなう雑草の発生状況と土壌の変化．千葉農試研報，**29**：93-104.

有光一登・荒木　誠・宮川　清・小林繁男・加藤正樹（1995）：宝川森林理水試験地における土壌孔隙量をもとにした保水容量の推定─初沢小試験流域1号沢および2号沢の比較─．森林立地，**37**（2）：49-58.

千葉克己・古賀　潔・馬場秀和（1997）：傾斜地半湿田地帯における耕作放棄水田の物理特性と豪雨への応答の検討．農土論集，**190**：61-70.

藤枝基久（2001）：森林の水源かん養機能とその評価．林業技術，**711**：12-17.

浜崎忠雄・小原　洋・加藤邦彦・松森堅治・中井　信（2002）：帆崎川小流域における土壌類型の分布と水保全容量，土肥誌，**73**（3）：279-285.

井上久義（1987）：圃場土壌中の大孔隙が水・溶質移動に果たす役割．農土論集，**132**：111-120.

早瀬吉雄（1994）：水田地帯の洪水防止・軽減機能の評価と機能向上事業の提案．農土誌，**62**（10）：943-948.

諫本信義（2002）：土壌孔隙組成を用いた森林の保水容量の推定とその要因解析．森林立地，**44**（2）：31-36.

加藤正樹・堀田　庸（1995）：流出解析による流域保水容量の推定．森林立地，**37**（2）：77-88.

河田　弘・小島俊郎（1979）：環境測定法Ⅳ─森林土壌─．p. 190，共立出版，東京.

河田　弘（1989）：森林土壌学概論．p. 399，博友社，東京.

木村和弘（2002）：急傾斜地水田の整備と今後の土地利用．農土誌，**70**（3）：191-194.

高知営林局（1967）：四国管内主要樹種林分収穫表：1-58.

高知県農業技術センター（1995）：平成元年～5年度土壌保全対策事業成績書：1-131.

牧山正男・山路永司（2001）：棚田保全の考え方．農土誌，**69**（1）：31-36.

増本隆夫・高木強治・吉田修一郎・足立一日出（1997）：中山間水田の耕作放棄が流出に与える影響とその評価．農土論集，**189**：59-68.

松村正幸・西村伸郎・西條好廸（1988）：飛騨山地の山間休耕田における植生遷移．日生態会誌，**38**：121-133.

三浦　覚（2000）：表層土壌における雨滴侵食保護の観点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価．日林誌，**82**：132-140.

中島峰広（1999）：日本の棚田─保全への取り組み─，pp. 252，古今書院，東京.

太田　健・谷山一郎・草場　敬・森　昭憲・荒谷　博（1996）：耕作放棄棚田における土壌特性の経年変化．土壌の物理性，**73**：3-10.

齋藤秀樹（1981）：森林におけるリターフォール研究資料．京都府大演報，**25**：78-89.

酒井　敦・篠宮佳樹・鳥居厚志・田淵隆一（2004）：棚田跡に植栽したスギ人工林の林床植生．森林応用研究，**13**：145-149.

水利科学研究所（1974）：森林の公益的機能計量化調査報告書（Ⅲ）：1-438.

高橋正通（1995）：堆積有機物質の養分レジムとその管理に関する研究．北海道大学学位論文：1-157.

高橋正通（2000）：森林土壌の有機物と炭素貯留量の推定．森林立地，**42**（2）：61-69.

竹下敬司（1985）：森林土壌と水源かん養機能．森林立地，**27**（2）：19-26.

塚本良則編集（1992）：森林水文学．p. 319，文永堂出版，東京．

吉田修一郎・高木強治・足立一日出・増本隆夫（1997）：気象条件の変化に伴う中山間地耕作放棄田の土壌物理性の変化．農土論集，**191**：75-83.

吉川省子（1999）：3．遊休地の雑草・土壌管理のための山羊利用．四国農業の新しい技術，**9**：7-9.

受稿年月日：2004年 6 月11日
受理年月日：2004年 9 月17日