

天の橋立公園のマツ並木の環境調査 (1)

—土壌および地下水について—

本城尚正*・大手桂二**・妹尾俊夫*

TAKAAKI HONJYO*, KEIJI OHOTE** and TOSHIO SENOO*

Environmental investigation on MATHU (Pine) trees
of AMANO-HASHIDATE PARK (1)
—On the soil and Ground water—

要旨：天の橋立のマツ並木は近年環境の悪化にともなって樹勢が衰え、今後の対策が憂慮されている。そこで現況を十分把握したうえで、保護対策をたてなければならない。

本報告は生立基盤である土壌と地下水について調査を行った。その結果を要約すれば次のとおりである。

- ①土壌は砂土が大部分を占め、その粒子間に構造は認められず、粘性も弱く、土壌化は殆ど進んでいない Im-s 型土壌である。
- ②土壌の三相組成では固相が50%以上も占め、液相や気相の割合が非常に少ない。
そして、容積重は100g/100cc 以上で非常に重く、孔隙率は40~50%と少ない値を示す。また、最大含水量や最小容気量も著しく小さい値で理学的性質は極めて悪い。
- ③炭素、窒素などの養分要素の含有率も非常に少なく化学的性質からみても瘠悪な土壌である。
- ④地下水位は非常に高く60~120cm であって、すべての地点で塩分濃度は低く真水同様の値であることが注目される。

はじめに

天の橋立は、日本海に面する宮津湾の西海江尻より対岸の文珠に向かって南西に突出する長大な砂嘴（砂洲）であって、安芸の宮島、陸前の松島とともに日本三景の1つとして1952年には特別名所に指定され、また若狭国定公園の一部となっている有名な景勝地である。白砂青松が海に映える

景色は素晴らしく、とくにマツの占める緑の比重は非常に大きいものがある。

しかしながら、近年これらのマツが環境の悪化やマツクイムシ等の被害を蒙り著しい衰退が認められる。

したがって、今後は長期展望にたった濃密な保護管理施策をたてて、実行しなければマツ並木の存続に大きな影響を与えることになろう。

*京都府立大学農学部附属演習林研究室

Experimental Forest Station, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

**京都府立大学農学部砂防工学研究室

Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

昭和62年8月13日受理

本調査は以上のごとき観点にたつて、植生の状態および生育環境を総合的に調査を行い、そのうえで今後マツ並木をどのように保護管理すべきか、またその施業方法について検討を行わんとするものである。

今回はマツ並木の生立基盤である土壤環境と地下水について調査を行ったので、その結果について報告する。

調査地の概況

1. 地況

天の橋立の砂洲の成因は、潮流そして川から放出される土砂との関係によるもの、すなわち、日本海の潮流は経ヶ岬より陸地に沿って南下し、伊根湾を洗いさらに南下して宮津湾を一周し、黒崎より外海に流出する。一方この付近の風は北または東の風が多く波は常に西海岸を洗い潮流はその砂を持ち去り、それに加えて野田川をはじめ、他の河川から放出された土砂をも混じて、潮流は多量の土砂を含んで宮津湾を一周する際、天の橋立付近に至ると流勢は緩慢となるため土砂は沈殿し、それが堆積した結果現在のごとき砂洲が形成されたものと結論づけている¹⁾²⁾。

天の橋立は、Fig. 1 に示したごとくその全長3.3 km 幅40~110m と狭長で東側の宮津湾と西側の内海の阿蘇海とを仕切っている。南側には切れ目があって、北部を大天橋、南部を小天橋といい、両者は大天橋で結ばれている。小天橋は文殊の沿岸に沿って延びており間の狭い水道は切戸あるいは文殊の瀬戸などと呼ばれ開閉式の回旋橋で結ばれている。

砂洲の地質は沖積統、未固結堆積物の砂質土、すなわち非固結岩屑土（レゴソル）である。

3. 気象

本地域は裏日本型気候の特性を呈するものと思われるが、宮津湾は東一南一西の三方を連山で囲まれ、北方は遠くで一部外海に面する勾玉状の湾であるため、平常は風波の害は少ない³⁾。

本地域の気候を宮津市に所在する気象観測所の資料⁴⁾を用いて示すことにする。Fig. 2 に月平均気温の変化曲線（1951~1975）を示す。この図からわかるように気温の年間推移は、1月が最寒月、8月が最暖月であって年平均気温は14.7℃、最高気温の月平均値19.4℃、最低月気温平均値0.0℃で比較的温暖な気候といえる。また、Table 1 および Table 2 に示したごとく、最高気温38.2℃、最

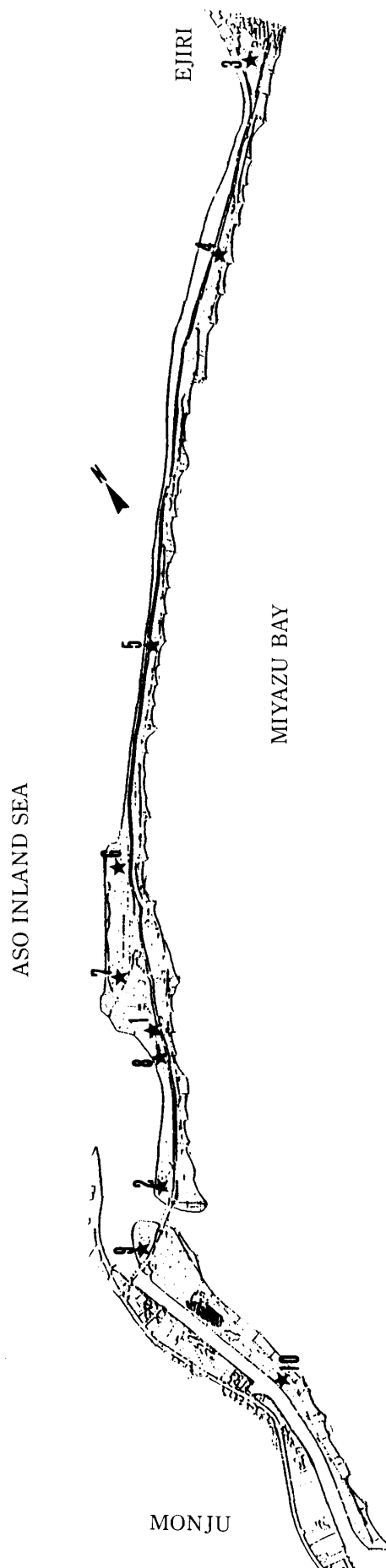


Fig. 1. Location of sampling plot.

Table 1. The highest records of maximum temperature. (MIYAZU) (1899~1976)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp. (°C)	20.8	22.3	26.0	29.6	33.2	35.2	38.2	38.2	36.5	30.6	26.2	23.4
Year	1916	1954	1941	1913	1961	1956	1967	1966	1970	1946	1914	1929
Day	22	27	20	25	27	20	30	10	4	2	4	16

Table 2. The lowest records of minimum temperature. (MIYAZU) (1899~1976)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp. (°C)	-8.8	-10.3	-9.5	-2.5	0.9	6.1	10.7	13.1	8.2	2.4	-1.1	-5.7
Year	1904	1921	1913	1923	1965	1921	1915	1956	1965	1909	1921	1967
Day	27	19	3	7	1	4	1	20	30	31	28	31

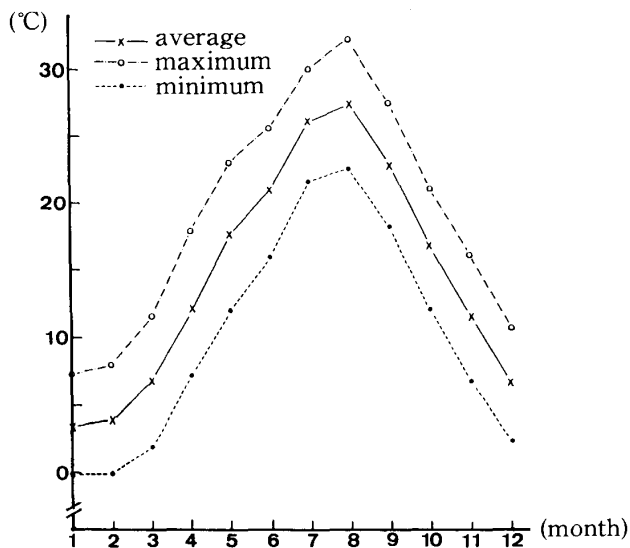


Fig. 2. Range of maximum and minimum temperature. (1951-1975)

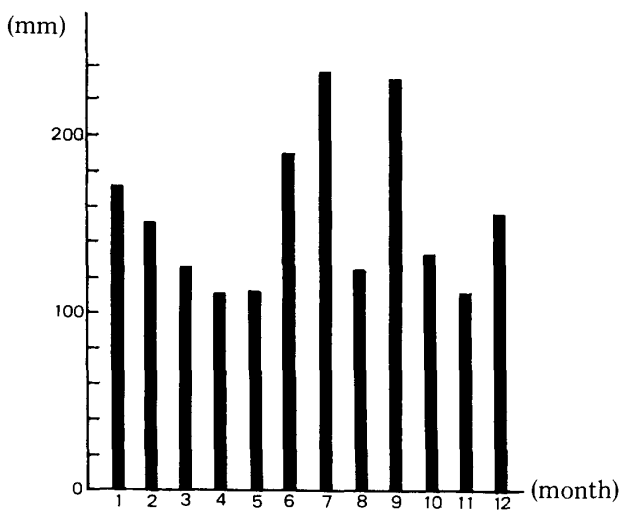


Fig. 3. Mean monthly precipitation. (1951-1975)

低気温 -10.3°C と非常に厳しい面があることから、砂洲上の植物には特に意を払う必要がある。

つぎに、平均降水量の月別変化を Fig. 3 に示した。この図から降水量の特性として6月、7月の梅雨期に増加し、特に梅雨末期の豪雨に起因して7月が最大となっている。8月に落ち込んで9月には台風に伴う豪雨によって平均200mm以上の降雨を記録している。また、12月、1月、2月に降水量が比較的大きな値を示しているが、これは主として降雪によるものであり、裏日本型気候の特色を反映しているといえる。なお年平均降水量は1,859.1mmと比較的多い。

3. 現況

植物帯を区分する大きな因子は気象因子であって、そのなかでも降水量と温度があげられる。本地域の降水量は前記のごとく年平均1,800mm以上で植物の生育には全く支障がないことから、温度との関係において植物群落は支配される。年平均気温は 14.7°C であって、暖かさの指数(W.I.)は101.2となり、この指数によって植物帯を区分すると、本地域は暖温帯に属する地域であって、暖温帯落葉樹林帯、照葉樹林帯に含まれるのであるが、大部分クロマツをはじめ先駆植物群落から構成されている。しかしながら、橋立神社付近の濃松(あつまつ)といわれている地区は、上層木にアカマツが点在するものの殆んどが照葉樹であるタブノキ、モチノキ、ヤマモモなどで上層を優先し、階層構造も進み遷移が相当進行した状態の林分となっている。

このように遷移がどんどん進むなかで、植物社会学的にみて長年にわたって、マツ並木を現在に至るまで立派に保護、管理されてきたことは関係者の努力の賜であろう。

調査方法

1. 土壌

一般に自然状態にある土壌は自然界の種々の因子の作用をうけて変化し発達していく、その変化発達の程度は土壌の断面を見ることによって容易に判断することができ、地力の優劣をも判定する有力な基礎となる。

しかしながら、本調査地の天の橋立は前述のごとく水積土で砂土が堆積した砂洲であること、そして何度となく砂洲が決壊して補修³⁾されているので、自然土壌のごとく容易に判定はできないと思われるが、優劣の目安になると考えられるため、以下に示した要領に基づいて断面を作成して調査を行った。

土壌調査地点は、いずれも Fig. 1 に示した植生調査地区内において選定した。

調査にあたっては、まず幅、深さともに 1 m の土壌断面を作成し、現地野外調査を行った。

また、自然状態の理学性および化学性の分析試料として、表層から 0～4 cm、30～34cm および 60～64cm の深さの層位の土壌をそれぞれ採土円筒 (400cc) とビニール袋にて採取をした。

土壌の分類および土壌断面形態の調査、理化学的性質の分析法は、わが国の森林土壌調査法で用いられている「国有林野土壌調査方法書」⁶⁾に準じ、調べ方の詳細は「林野土壌とその調べ方」⁷⁾によった。土色の判定には「標準土色帖」⁸⁾を用いた。

また、化学的性質分析用に採取した土壌は風乾後篩別 (2 mm) し、その細土について分析を行った。その分析方法は次の方法で行った。

PH：ガラス電極 PH メーター

全炭素・全窒素：CN コーダー MT-500型 (柳本製作所) による乾式燃焼法⁹⁾

塩基置換容量 (CEC)：M. Peech 法¹⁰⁾

2. 地下水

天の橋立の地下水位は前述のごとく非常に高く、今回の調査地点のうち最も高い地点では 60cm で、最も低い地点でも 120cm であった。

このように高い地下水位で、しかもその地下水の塩分濃度が高ければ、当然樹木の種類や生長にも限度があり、現在生立しているような大木には到底なりえないだろうし、また植物が繁茂することすら困難と考えられる。

以上のことから、現に海上に横たわる砂洲の中に不思議と真水の出る「磯清水」といわれてい

る名高い井戸があって、遠い平安の昔から歌や詩に讃えられており¹¹⁾²⁾¹¹⁾、多分その他の地点においても地下水は塩分濃度が低いのではないかと推察されるので、各地点の塩分濃度の分析を試みた。

地下水の採取地点は土壌調査地点と同一地点であって、採取深さは土壌断面の作成中地下水が湧出しはじめた位置を上部として採取。つづいて、50cm 掘り下げ円筒 (径：15cm、長さ：60cm) を挿入して、円筒内の水と砂を数回取り除き、その後湧出してきた地下水を下部として採取し、実験室に持ち帰り塩分濃度の分析を行った。

分析方法は地下水中の Na 含量を武者、下村 (1972) の方法¹²⁾を参考に原子吸光分析法にて測定し、それを NaCl 換算し塩分濃度とした。その概要は次のとおりである。分析には島津製作所 AA-630-01型原子吸光光度計を用い、Na ランプをピーク値 10m Å、分析波長 5890.0 Å に設定し、燃焼ガスはアセチレン、空気 (C₂H₂ 0.8kg/cm², air 0.5kg/cm²) とした。標準線作成用標準液は、原子吸光分析用ナトリウム標準液 (半井化学薬品 K.K. 製 Na 1,000ppm) を分析最低濃度 1, 5, 10ppm に脱イオン蒸留水を用いて希釈し調製した。無灰分ろ紙 (東洋ろ紙 No. 5 A) にてろ過した地下水サンプルをあらかじめ盲検して、希釈率を定めた後、分析最適濃度まで希釈して分析に供した。その希釈率は、地下水 10 倍、参考値として分析した海水、水道水はそれぞれ 2,000 倍、5 倍であった。サンプルの吸収率および標準線より希釈液 Na 濃度を算出し、さらにその値に希釈倍数 NaCl/Na=58.44/23 を乗じ NaCl 含量とした。

結果および考察

1. 土壌

1) 野外調査

土壌の地力は、土壌の理学的、化学的、微生物学的、膠質化学的諸性質の相互の結び付きに基づいてもたらされる。その総合的結果は必然的に土壌断面に反映し、性質を著しく異にするいくつかの層位に分化し、色、構造などにも違いが現われてくるのが普通である。

したがって、その形態的特徴を観察調査することが地力を判断するうえで最も効果的と考えられる。

その土壌断面の観察結果を Table 3 に、また土壌断面模式図を Fig. 4 に示した。

これらの観察結果から、いずれの地点において

Table 3. Results of field surveys on the soil.

Samling Point	Depth (cm)	Textur	Humus	Color	Gravel (p. c. area) (%)	Structure	Compactness	Stickness	Moisture	Root	Percolation	Boundary	Thickness A ₀ layer (cm)	Ground water level (cm)
1	0-3	S	—	7.5YR5/6	15	Gr	L ₂	—	W ₂	*	G	G	L=0.5 H=0.5	62.0
	3-21	SL	—	5/8	10	Sg	F	W	W ₂	***	M	S		
	21-22	CL	***	3/3	0	Gr	F	M	W ₁	****	M	S		
	22-33	S	**	5/8	20	Gr	F	—	W ₂	****	G	S		
	33-43	CL	***	3/3	0	Cr	F	W	W ₁	****	M	C		
	43-52	S	**	4/6	15	Gr	F	W	W ₁	*	G	G		
52-	S	—	5/2	20	Sg	F	W	W ₁	—	G	G			
2	0-2	CL	***	7.5YR2/2	15	Cr	L ₂	M	W ₂	*	G	S	L=0.5 F=0.5	70.0
	2-7	S	**	6/6	30	Gr	C	W	W ₂	*	M	G		
	7-31	S	—	6/8	35	Gr	F	W	W ₂	****	M	C		
	31-35	L	**	4/2	10	Bl	F	M	W ₁	****	B	C		
	35-38	S	—	5/4	15	Gr	F	W	W ₂	*	B	C		
	38-58	S	***	4/1	20	Gr	F	M	W ₁	****	G	S		
58-	SL	*	5/2	30	Gr	F	W	W ₁	****	G	G			
3	0-2	CL	***	7.5YR3/2	15	Cr	L ₂	M	W ₂	***	G	S	L=0.5 H=0.5	85.0
	2-17	S	—	6/8	25	Sg	F	W	W ₂	**	M	C		
	17-19	SL	**	4/3	10	Gr	F	M	W ₂	****	M	C		
	19-29	S	—	6/6	35	Gr	C	W	W ₂	****	B	C		
	29-31	C	***	3/2	10	Cr	F	M	W ₂	****	G	S		
	31-41	S	—	5/4	15	Gr	F	W	W ₂	*	M	S		
	41-44	C	—	5/8	0	Ma	C	S	W ₂	—	B	S		
	44-54	S	**	3/3	10	Gr	F	W	W ₁	***	B	C		
	54-68	S	—	5/3	15	Gr	F	W	W ₁	*	G	C		
68-	S	—	4/1	40	Sg	F	W	W ₁	—	G	C			
4	0-1	CL	***	7.5YR3/2	15	Cr	F	M	W ₂	*	G	S	L=1.5 H=1.0	90.0
	1-13	C	*	6/6	20	Bl	C	W	W ₂	****	B	S		
	13-15	L	**	4/1	10	Lg	F	M	W ₂	****	G	S		
	15-23	S	—	4/6	25	Gr	C	W	W ₂	****	B	S		
	23-25	L	**	5/1	10	Lg	C	M	W ₂	***	B	S		
	25-35	G	—	6/6	40	Bl	C	W	W ₂	***	B	S		
	35-47	S	**	5/2	25	Sg	F	W	W ₁	****	G	G		
	47-	S	—	7/3	15	Lg	F	W	W ₁	**	G	G		
5	0-2	CL	***	7.5YR3/2	10	Cr	L ₂	M	W ₂	***	G	S	L=2.0 H=1.0	120.0
	2-17	S	*	6/6	30	Bl	C	W	W ₂	****	B	G		
	17-28	L	*	4/4	20	Bl	C	W	W ₂	****	B	S		
	28-38	S	**	4/2	15	Gr	F	W	W ₁	****	G	G		
	38-	S	—	6/4	20	Lg	F	W	W ₁	*	G	G		
6	0-26	G	***	7.5YR6/4	45	Gr	F	W	W ₂	—	B	S	90.0	
	26-28	CL	*	3/1	5	Cr	L ₂	M	W ₂	*	G	S		
	28-41	S	*	4/3	20	Bl	F	M	W ₂	****	B	S		
	41-47	CL	**	2/1	0	Gr	F	M	W ₁	****	G	C		
	47-	S	—	6/6	5	Lg	F	W	W ₁	*	G	C		
7	0-1	CL	***	7.5YR4/2	20	Cr	L ₂	W	W ₂	*	G	S	L=1.0 H=0.5	70.0
	1-13	S	—	6/4	35	Gr	C	W	W ₂	**	B	C		
	13-24	C	*	4/3	20	Bl	C	M	W ₂	***	B	S		
	24-26	CL	***	7/1	0	Cr	F	M	W ₂	****	G	S		
	26-31	S	—	6/6	20	Bl	C	W	W ₂	***	B	S		
	31-33	S	***	3/1	0	Gr	F	W	W ₁	****	G	S		
33-	S	*	4/4	15	Lg	F	W	W ₁	***	G	S			
8	0-1	SL	***	7.5YR3/2	0	Nu	L ₂	M	W ₂	****	B	S	L=0.5 H=0.5	60.0
	1-23	S	—	6/6	20	Gr	F	W	W ₂	***	B	G		
	23-26	C	**	5/4	0	Lg	F	W	W ₂	****	B	G		
	26-39	G	—	6/4	35	Bl	F	W	W ₂	****	B	C		
	39-	S	—	6/3	20	Lg	L ₂	W	W ₁	*	G	C		
9	0-2	C	***	7.5YR2/2	0	Nu	F	S	W ₁	*	B	S	L=0.5 H=0.5	65.0
	2-5	G	—	6/8	35	Gr	F	W	W ₂	**	B	G		
	5-26	S	—	5/6	25	Gr	F	W	W ₂	****	G	G		
	26-38	G	—	6/6	35	Bl	C	W	W ₂	*	B	S		
	38-41	S	**	3/1	0	Gr	F	W	W ₁	****	G	S		
	41-	S	—	7/3	40	Sg	F	W	W ₁	**	G	S		
10	0-2	S	**	7.5YR6/2	0	Lg	L ₂	W	W ₂	—	G	G	L=1.0 H=0.5	80.0
	2-30	S	*	7/3	0	Lg	L ₂	W	W ₂	**	G	S		
	30-39	S	**	5/2	10	Lg	L ₂	W	W ₁	****	G	S		
	39-	S	*	7/3	20	Gr	L ₂	W	W ₁	****	G	S		

Texture

G : gravel
S : sand
C : clay
CL : clay loam
L : loam
SL : silty loam

Humus

*** : abundant
** : occasional
* : rare

Structure

Sg : single grain
Cr : crumb
Ma : massive
Bl : blocky
Nu : nutty
Lg : loose granular
Gr : granular

Compactness

L₁ : soil aggregates bound very loosely
L₂ : soil aggregates bound loosely
F : soil aggregates bound densely and firmly
C : soil aggregates bound compactly

Stickness

S : strong
M : medium
W : weak

Moisture

W₁ : wet
W₂ : humid
D : dry

Root

**** : abundant
*** : frequent
** : occasional
* : rare

Percolation

G : good
M : moderate
B : bad

Boundary

S : sharp
C : clear
G : gradually

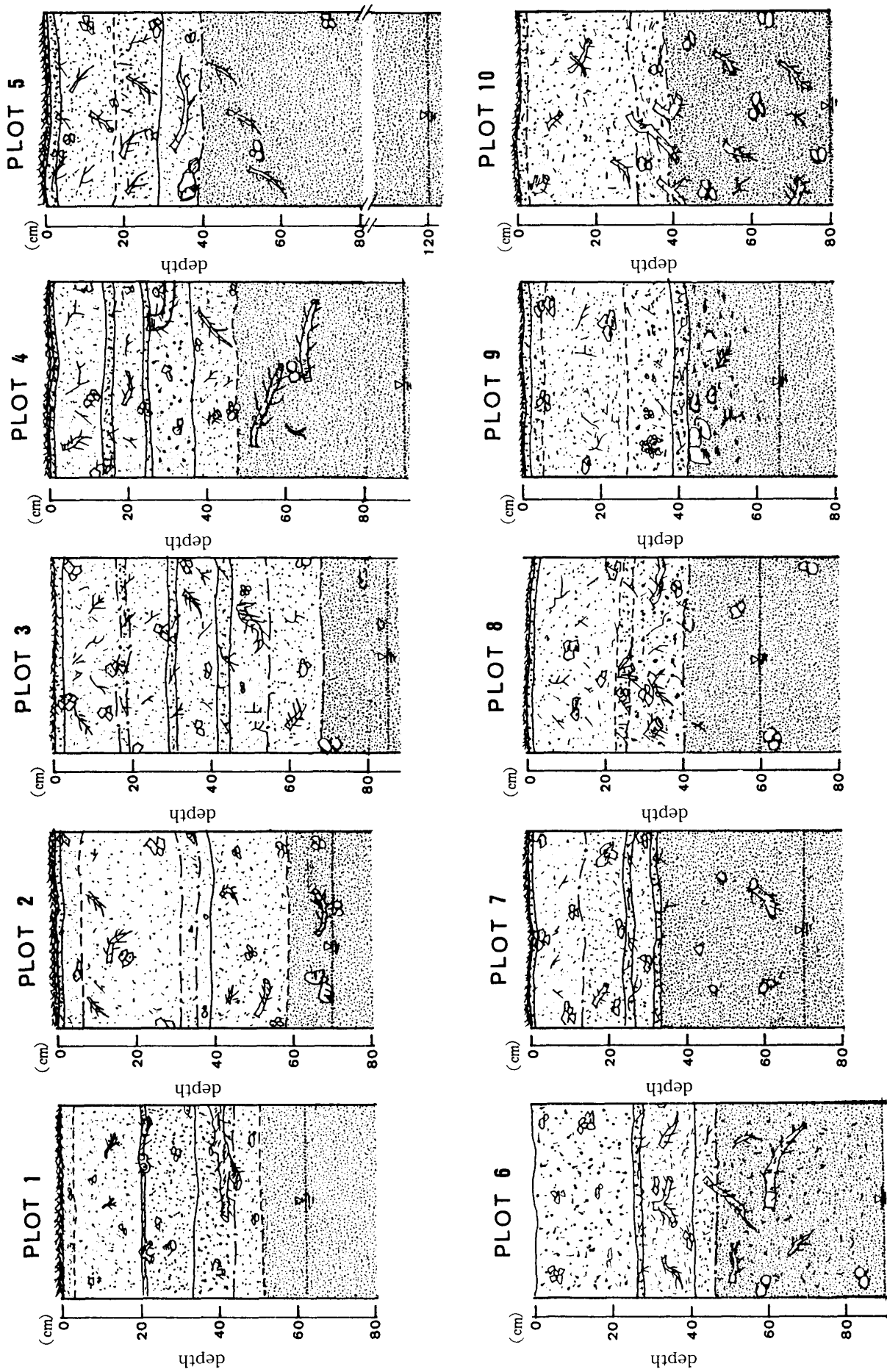


Fig. 4. Schematic presentations of typical soil profiles.

も腐植質は殆んど含まれず、礫も少なくほぼ均一な細粒でよくしまった砂土が大部分を占めている。また粘土分が少ないため砂の粒子間に構造は認められず、粘性も弱く土壌化は殆んど進んでいない Im-s 型土壌である。

しかしながら、普通の森林では認められない程数多くの層位に分かれている。これは何度かの冠水による影響とその他保護管理のために行われた客土等によるものと推察される。

さらに、土壌断面から注目される点は、マツの

根系の侵入が非常に浅いことで、杭根（直根）は殆んど発達せず、平根（側根）が異常に肥大伸長している。これは地下水位が高いことに影響している。

2) 理化学的性質

樹木は、自然に依存する比重が非常に高いことから、自然状態の土壌の分析に重点をおかなければならない。そこで、本調査においても土壌断面の調査と並行して、前述の3層から試料を採取し、その理化学性について分析を行い検討を加えた。

Tabl 4. Physical properties of the soil profiles.

Sampling point	Depth (cm)	Bulk density (g/100cc)	porosity (%)	Water max. (%)		Air min. (%)	Moisture content of fresh soil (%)		Water percolation rate (ml/min.)		
				Weight	Volume		Weight	Volume	After 5min.	After 15min.	Average
1	0-4	125.5	44.4	32.2	34.0	10.5	14.9	15.7	42	40	41
	30-34	90.3	63.0	58.0	50.5	12.5	37.9	33.0	63	66	65
	60-64	138.0	44.6	24.5	31.2	13.4	25.3	32.2	69	70	70
2	0-4	122.6	48.5	34.7	37.9	10.6	22.1	24.1	15	16	16
	30-34	125.2	43.5	35.4	36.7	6.8	25.1	26.0	9	9	9
	60-64	132.9	46.7	27.5	33.9	12.8	27.8	34.3	77	79	78
3	0-4	151.0	42.9	24.5	36.0	6.9	14.4	21.2	17	19	18
	30-34	130.1	47.5	29.2	35.7	11.7	16.3	19.9	29	32	31
	60-64	153.6	43.2	20.7	31.8	11.5	17.9	27.4	73	75	74
4	0-4	118.3	49.6	43.2	45.7	3.9	31.0	32.7	36	39	38
	30-34	145.4	41.3	22.2	29.7	11.5	14.2	19.1	14	14	14
	60-64	136.3	46.8	23.4	30.7	16.1	6.8	8.9	81	80	81
5	0-4	109.8	53.7	43.3	43.9	9.8	26.4	26.7	40	42	41
	30-34	131.8	49.4	22.0	28.6	20.9	8.5	11.1	40	41	41
	60-64	140.7	47.2	21.0	29.5	17.7	5.5	7.8	50	52	51
6	0-4	111.3	43.2	40.7	33.6	9.6	21.7	18.0	38	41	40
	30-34	124.9	52.3	37.6	45.1	7.1	32.2	38.6	9	8	9
	60-64	132.8	49.4	25.4	33.7	15.8	9.7	12.9	70	73	72
7	0-4	127.2	45.0	34.8	37.7	7.3	14.5	15.8	26	29	28
	30-34	130.3	49.1	23.9	30.5	18.6	16.3	20.8	15	15	15
	60-64	138.1	47.9	27.3	37.5	10.4	20.6	28.4	23	26	25
8	0-4	129.8	45.9	32.0	36.8	9.1	26.9	30.9	12	12	12
	30-34	128.5	44.5	32.1	35.3	9.3	19.0	20.9	80	82	81
	60-64	130.0	47.9	27.1	36.7	11.3	26.5	35.9	41	43	42
9	0-4	125.1	45.3	33.8	36.7	8.5	27.4	29.8	7	7	7
	30-34	131.8	43.8	29.7	34.1	9.7	24.0	27.6	13	14	14
	60-64	132.0	46.9	29.1	36.2	10.7	24.9	31.0	63	67	65
10	0-4	121.4	50.9	26.2	30.3	20.6	12.2	14.1	157	160	159
	30-34	138.8	46.1	22.6	30.8	15.3	4.7	6.5	181	184	183
	60-64	134.0	45.4	26.5	32.9	12.5	15.7	19.4	210	214	212

(1) 理学的性質

土壌はただ単に養分が多く含まれていればよいというものではなく、植物の生長にとっては養分と同様に水分、酸素も同様に必要であり、また土壌としては、それらを保持できるような条件を備えていなければならない。それゆえ土壌の理学的性質を知ることは植生の生育を予測するうえからも重要である。

本調査地の自然状態における土壌の理学的性質は、Table 4 に示したとおりで、容積重は90~153 g/100cc といずれの地点でも、またどの層位でも非常に重い。

孔隙量は機械的組成、堆積様式あるいは有機物の含有量と構造によって支配されるため、表層土は下層土よりも大となるのが普通であって、一般的には平均70~80%である¹³⁾。しかしながら、本調査地は上、下層に関係なく孔隙の少ない緊密ないし固結状態の土壌である。

土壌中の水分関係は、土壌の形態的特徴と密接な関係をもつとともに、また諸因子のうちで、植物の生育と最も重要な関係をもつ主要な因子である。普通一般の森林で土壌生物の活動に最適とされている最大含水量は、50~80% (重量) であるが¹³⁾、本調査地はいずれも小さな値を示し、やはり土壌条件は良くない。

採取時の含水量は、調査地点によっても、また層位によっても著しい差のあることが注目される。これは地下水位の高さの差異、それに不透水層の有無によるものと考えられる。また、最小容気量をみると森林土壌と異なって、No.10以外は表層部位において小さい値となっている。このことは表層土がいかに圧密されているかがよくわかる。

つぎに、透水性は土壌の粒度構造、緊密度により種々の値をとるが、植物の生育上からは大変重要な指標である⁷⁾¹³⁾¹⁴⁾。本調査地の測定結果をみると、砂土であるにも拘らず No.10を除いて透水性は非常に悪い。

これは微細な砂が風雨や雪、それに人為の踏圧などによって密圧されたためと、何度か行われた透水性の悪い客土にも原因している。

自然状態の土壌組成を大別すると、個体部分(細土・礫・根)、液体部分(水)および気体部分(空気) 3相に分けられる。この3相割合は、土壌の通気、透水、保水等種々の物理的な性質の良否に重要な関係をもっている。この3相について容積割合で示すと Table 5 のとおりである。

固相は普通25%前後で、比較的緊密と思われる下層でも30%前後であって、その他は空隙で普通60~80%を占め、自然状態ではその一部が水で占められている。その水分の含有量は土壌により、また同一土壌でも季節によって異なるが、全土壌容積に対し20~60%に及ぶ⁷⁾¹³⁾。

本調査地点の測定結果をみると、殆どどの地点で固相が50%以上を占め、液相や気相の割合の少ないことからやはり理学的性質は非常に悪いといえよう。

以上いずれの指標をみても、本調査地点は土壌全体にわたって通気性ならびに透水性が悪いため、樹木の根系の活動に極めて好ましくない土壌環境であるといえよう。

(2) 化学的性質

一般に森林においては、生立する植物から葉、枝、根などの有機物を地表や地中に落とし、小動物および微生物の遺体とともに、それらは、小動物や微生物の働きによって複雑な分解と合成の過程を経て、腐植化や無機化が進んで、土壌母材の風化とあわせて土壌を形成していく。このようにして植物の遷移発達につれて土壌有機物の増加は、土壌生成作用と密接な関係があり、土壌の化学的性質も次第に変化していくのである。そこで、土壌の良否を判定するには、前述の物理学的性質はもちろんのこと、化学的性質もあわせて重要と考えられる。

本調査地の化学的性質の分析結果を Table 6 に示した。

植物や地中動物、微生物の生活の場としての土壌が酸性かアルカリ性か、さらにそれがどの程度の強さであるかということは、その生理作用に重大な影響を及ぼす重要な問題である。

本調査地の土壌は、砂洲という特殊な環境であるため、海水の影響を受けて中性以上の高い値を示すと推察されたが、測定結果では酸性の値を示した。これは後述するが地下水が真水であることに起因している。

つぎに土壌有機物の総量を測定することは困難であることから、普通炭素量でもって比較したほうが適切であるので⁷⁾¹³⁾、ここでは全炭素量の定量を行った。

普通森林土壌の炭素含有量は、一般に農耕地と比較すると非常に多いことが特徴であって、その含有量はA層4~15%、B層1~8%程度であるが⁷⁾、本調査地は分析結果からみて、非常に低い値

Table 5. Three phase distribution of the soil.

Sampling point	Depth (cm)	Solid (%)	Water (%)	Air (%)
1	0-4	55.6	15.7	28.7
	30-34	37.0	33.0	30.0
	60-64	55.4	32.2	12.4
2	0-4	51.5	24.1	24.4
	30-34	56.5	26.0	17.5
	60-64	53.3	34.3	12.4
3	0-4	57.1	21.1	21.8
	30-34	52.5	19.9	27.6
	60-64	56.8	27.4	15.8
4	0-4	50.4	32.7	16.9
	30-34	58.7	19.1	22.2
	60-64	53.2	8.9	37.9
5	0-4	46.3	26.7	27.0
	30-34	50.6	11.1	38.3
	60-64	52.9	7.8	39.3
6	0-4	56.8	18.0	25.2
	30-34	47.8	38.6	13.6
	60-64	50.6	12.9	36.5
7	0-4	55.0	15.8	29.2
	30-34	50.9	20.8	28.3
	60-64	52.1	28.4	19.5
8	0-4	54.1	30.9	15.0
	30-34	55.5	20.9	23.6
	60-64	52.1	35.9	12.0
9	0-4	54.7	29.8	15.5
	30-34	56.2	27.6	16.2
	60-64	53.1	31.0	15.9
10	0-4	49.1	14.0	36.9
	30-34	53.9	6.5	39.6
	60-64	54.6	19.4	26.0

を示し、土壤有機物の貧弱さが目立っている。

また、窒素は土壤の肥沃度を示す指標として重要な要素であり、普通の森林土壤におけるその含有量は、A層0.3~1.0%、B層0.1~0.5%位の範囲であるが⁷⁾、この分析値も極端に低い値を示し、やはり化学的性質も極めて悪いといえる。

塩基置換容量は、粘土とくに膠質粘土の量と質および腐植の多少によって左右されるが、本調査地のごとく砂土においては、一般に極めて低い値を示し、養分の保持力も非常に悪い。それに加えて、本調査地は地上部から有機物の供給が少ない

ため、瘠悪化はますます進み、低生産性の土壤となっていくものと推察される。以上の調査結果から、今後は土壤の通気、透水性を良好にするための理学的性質の改善はもちろんのこと、同時に有機質の投入を含めた施肥管理がなければ、樹木の健全な生育は望めないであろう。

2. 地下水

地下水の分析結果は、Table 7に示したとおりである。この表から地下水は海にごく近い地点を含め、すべての地点で「磯清水」の井戸と同様に塩分は殆んど含まれておらず、この砂洲にマツや

Table 6. Chemical properties of the soil profiles.

Sampling point	Depth (cm)	PH H ₂ O(1:5)	Total-C (%)	Total-N (%)	CEC (me/100g)
1	0-4	5.10	0.22	0.01	4.6
	30-34	4.30	2.01	0.08	11.1
	60-64	5.80	0.14	0.01	1.6
2	0-4	5.20	0.41	0.02	6.6
	30-34	4.70	0.48	0.02	7.9
	60-64	5.95	0.18	0.01	1.5
3	0-4	5.20	0.29	0.02	7.4
	30-34	4.70	0.32	0.02	4.7
	60-64	5.35	0.12	0.01	1.9
4	0-4	4.95	1.19	0.03	15.4
	30-34	4.70	0.50	0.01	4.3
	60-64	5.35	0.13	tra.	1.8
5	0-4	5.20	1.40	0.08	10.4
	30-34	4.85	0.46	0.02	2.6
	60-64	5.20	1.40	0.05	1.2
6	0-4	4.80	0.11	0.01	10.8
	30-34	4.70	0.34	0.01	10.4
	60-64	4.75	0.35	0.01	2.5
7	0-4	4.65	0.19	0.01	5.6
	30-34	4.45	0.15	0.05	3.6
	60-64	4.55	1.01	0.04	2.1
8	0-4	4.75	0.61	0.02	10.0
	30-34	4.65	0.29	0.02	7.4
	60-64	6.15	0.57	0.02	2.5
9	0-4	4.35	0.50	0.02	7.7
	30-34	4.40	0.17	0.01	6.2
	60-64	5.20	0.18	0.01	2.7
10	0-4	4.35	0.83	0.02	1.9
	30-34	5.65	0.26	0.01	1.4
	60-64	6.20	0.20	0.01	1.4

その他の樹木が大木となって生育していることが納得できる。

しかしながら、この地下水が何故真水なのか、またどれ位の地下水量なのかを解明することが、将来マツを保護管理するうえで大変重要な問題と考える。

周囲が海に囲まれしかも細い砂洲の地下水が真水であることは砂洲が破碎帯上にあつて、それに沿って地下水が湧出しているとはまず考え難い。多分不透水層がある程度の深さの所に形成されて、外海からの海水の浸透を妨げているのではないかと

と考えるのが妥当であろう。では、いかにして不透水層が形成されたのであろうか。一般に砂地では、表層土内の微細な粘土質物が土壤浸透水中に分散し、土壤空隙を通過して下層に運搬され、ある深さの所の土壤構造の表面や孔隙中に沈殿、集積して壁状となり、不透水層を形成する。このことをレシベ化作用と呼んでいる。この作用は、表層の微細な粘土質物が土壤中に分散することが前提条件であり、そのためには、浸透中の塩類濃度や表層土中の遊離酸化物の含有量が低いこと、PH4.5~6.5の範囲にあること、粘土を運ぶのに十

Table 7. Ground water analysis on salinity.

Sampling point	Ground water level (cm)	Sampling depth (cm)	Dilution rate	Na (ppm)	Real Na (ppm)	NaCl conversion ($\times 58.44/23$) (ppm)
1	62	62	1/10	4.78	47.8	121.4
		110	1/10	2.26	22.6	57.4
2	70	70	1/10	0.72	7.2	18.3
		120	1/10	2.72	27.2	69.1
3	85	85	1/10	1.92	19.2	48.8
		135	1/10	1.44	14.4	36.6
4	90	90	1/10	4.04	40.4	102.6
		140	1/10	3.53	35.3	89.7
5	120	20	1/10	2.31	23.1	58.7
		170	1/10	2.19	21.9	55.6
6	90	90	1/10	2.62	26.2	66.5
		140	1/10	2.29	22.9	58.2
7	70	70	1/10	2.34	23.4	59.4
		120	1/10	2.37	23.7	60.2
8	60	60	1/10	3.19	31.9	81.0
		110	1/10	2.79	27.9	70.9
9	65	65	1/10	1.16	11.6	29.5
		115	1/10	0.99	9.9	25.1
10	80	80	1/10	3.21	32.1	81.5
		130	1/10	1.08	10.8	27.4
Well water (ISOSHIMIZU)			1/10	3.41	34.1	86.6
Sea water (MIYAZU BAY)			1/2000	4.28	8560.0	21742.4 (2.17%)
Tap water (KYOTO CITY)			1/5	1.47	7.4	18.8

分な浸透水があること、かつ一時期土壌が強く乾燥するような水分状況であることが必要とされるが¹⁵⁾、本調査地はいずれの条件も満たしているといえる。

このようにして分散した粘土は、浸透水に伴われて孔隙やクラックなどの土壌の孔隙を通して下層に運搬され、ある深さのところまで土壌構造、骨格粒子などの表面やクラック、孔隙などの壁面に粘土被膜 (clay skin) として沈殿する。この沈殿する機構としては、①浸透水が下層の土壌構造内に吸収されるため、浸透水を失った粘土がその表

面に沈殿する。②土壌溶液の浸透に伴って下層土が膨張し、浸透速度が低下するため粘土が沈殿する。③分散した粘土の浸透に伴い下層土中の細孔隙が目づまりを起こし、いわゆる篩別作用 (sieve action) により粘土が沈殿する。④下層土における高いカルシウム濃度のため分散粘土が凝固沈殿する。⑤有機-無機複合体の有機配位子が、微生物などによって破壊されるため粘土が沈殿する¹⁵⁾などが考えられる。

以上の理由で長年にわたって不透水層が形成されて、外海の海水は遮断され、降雨、降雪による

浸透水が地下水となって存在するのではないかと推定される。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり多大のご配慮をいただいた京都府土木建築部都市計画課および京都府宮津土木事務所の関係各位に深く感謝の意を表す。また、分析にあたって種々ご指導いただいた京都府立大学農学部 米林甲陽博士ならびに小島洋一博士に厚くお礼を申しあげる次第である。

あ と が き

マツのごとき喬木は一般に長命であるが、病虫害の被害の他、環境の悪化により老衰して枯死することは当然の結果である。したがって、生立環境をなんとか努力してできる限り良い条件で健全な生育状態を保つことが最良の施策と考えられる。

今回の土壌調査結果から、天の橋立の砂洲の土壌は理学的性質も化学的性質も非常に悪いことが明らかになった。そこで、この土壌の改良法として良質の土壌を客土することも一手法であるが、現在 No.6 地点で行われているような透水性の悪い客土を上部に置土することは、かえって樹木の生育に支障を来すことになろう。客土する場合には、流失土壌量と同量程度にとどめ同時に有機物を混入して鋤込むことが望ましい。

土壌は踏圧や風・雪・雨などによって固くしまり容気量は少なく、透水性も悪い。それゆえ根系の発達は相当阻害されているものと考えられるので、エアレーションなども有効な方法ではあるが、砂土では有効期間が短いと思われる。

その他の方法として、壮、老齢木のマツには単木的に地下水位高まで、酸素管を数本挿入し、吸収根の発生を促すことも一手法である。

また、地下水の問題も大変重要であるので、今

後その量も十分把握して枯渇が起こらないような調査研究が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 木下幸吉(1940)：丹後郷土史料集，第2輯，地方誌，龍燈社，254-259
- 2) 梅本正幸(1976)：丹後史蹟，114-122
- 3) 宮津町役場(1982)：丹後宮津志，名著出版，53-57
- 4) 京都地方気象台(1981)：京都気象100年，日本気象協会関西本部，197-202
- 5) 本城尚正・塩野裕司・大手桂二(1982)：六甲山系における山腹植栽工林地の土壌回復について，京府大学報・農，34，101-115
- 6) 林野庁林業試験場(1955)：国有林野土壌調査方法書，林業試験場，1-47
- 7) 農林省林業試験場土壌調査部(1976)：林野土壌とその調べ方，林野共済会，7-73
- 8) 農林省農林水産技術者会議事務局(1967)：新版標準土色帖
- 9) 木内和美(1967)：CN自動分析装置による農作物の炭素，窒素の定量，農林省農業技術研究所作物栄養第1研究室，10-17
- 10) 京都大学農学部農芸化学研究室(1966)：農芸化学実験書，第1巻，産業図書，239-252
- 11) 長浜宇平(1972)：丹後史料叢書，第10輯，92-94
- 12) 武者宗一郎，下村滋(1972)：原子吸光分析，共立出版，103-104
- 13) 河田弘，小島俊郎(1976)：環境測定法，VI，森林土壌，共立出版，79-171
- 14) 芝本武夫(1979)：森林の土壌と肥培，農林出版，51-69
- 15) 農林水産省林野庁(1983)：日本の森林土壌，日本林業技術協会，36-37

Summary

According to the deterioration of environmental conditions, recently the vitality of MATSU trees, stand AMANO-HASHIDATE, is going to weaken. So we must grasp the present conditions fully, and need to consider the preservation treatments. We investigated the soil and the ground water as the foundation of growth.

The results obtained are summarized below.

1. The soil is almost occupied by fine-grained sand and has no structures between particles, and weak cohesion. So we classify it as Im-s type soil, which the formation of soil doesn't progress.

2. Concerning about the relative contents of solid, water, air, solid occupies more than 50%,

and the percents of water and air are very small. So the bulk density is very high (more than 100g/100cc) and the percents of porosity is low (40—50%). Maximum water capacity and minimum air capacity also show so small. Therefore the physical properties of the soil are supposed very bad.

3. Nutrients, such as carbon, nitrogen and

other elements, aren't almost contained in the soil, so the chemical properties of the soil are also bad.

4. Ground water level is remarkably high (60—120cm under surface). Characteristically, the ground water shows low salinity, almost fresh water, every sampling points.