

論文

瀬戸内海沿岸花崗岩地帯のマツ林土壌の塩素量とPHならびに
マツの材および葉中の塩素について

山田 藤吾* 伏見 知道**

Studies on the chlorine contents and the PH values of the soils and
the chlorine in the woods and the needles of Japanese red and
black pine at the pine stands on the granite region along
the shore of the Inland Sea

Tōgo YAMADA and Tomomichi FUSHIMI

Summary : Besides examining the field test about the growth of Japanese red pine (*Pinus densiflora*) and Japanese black pine (*P. Thunbergii*) in planting works for erosion control on bare hills at the districts along the shore of the Inland Sea, we have reported on the results of salt-proof experiments about those species.

To get some fundamental data for that experiment, we inquired the environment of some Japanese red pine stands at 8 areas on the granite region along the shore of the Inland Sea; 5 areas at Miyajima, Hiroshima Prefecture and 3 areas at Omishima, Ehime Pref.. This report, being a part of the results of those inquiries, deals with the chlorine contents and PH values of soils, the chlorine concentration in soil solution and the chlorine contents in the woods and the needles of Japanese red and black pine.

81 soil-samples in total were picked from 22 plots (j. red pine stands) at the places of 10 m, 100 m and 200 m above the sea on the direction at right angles to the beach line and from 4 plots at sandy beach less than 3 m above the sea, in each plot picked from 5 cm, 20 cm and 30 cm depth of soil (at the sandy beach from 40 cm depth too). To indicate the salt content in each sample, the chlorine contents were titrated by Volhard method and PH values were measured with the glass-electrod PH-meter.

(I) The chlorine contents in the soils

A large amount of chlorine must have been supplied to the forest land through several courses every year, but the chlorine was found very little, most of those chlorine therefore must have been washed away with rainfall.

1) At the places of 10 m above the sea the chlorine contents of soil were abundant, especially at the places abutting on the beach line those were remarkably. At the places of 100 m and 200 m above the sea, all most of chlorine contents of soil were less than 10 mg/100 g dry matter.

2) There were the decreasing tendencies of chlorine contents with the depth of soil at the places of 10 m above the sea, but there were scarcely any differences at the other places.

3) At the sandy beach, the influence of the saturated sea water was obvious.

4) When we examined the chlorine content of soil as the chlorine concentration of the soil solution, supposing that all chlorine resolved in the solution, the chlorine concentrations were in most of all forest soils under 0.016 % — it is said that¹⁰⁾ at the concentrations above 0.0174 % chlorine the respiratory

* 森林工学講座 教授 ** 同 助手

function of fine roots of Japanese black pine are checked obviously. — and there was scarcely any possibility of such diluted solution of chlorine causing directly a physiological injury of fine roots. But at the Region along the shore of the Inland Sea in Japan, rainfall is so little (under 1500 mm/year) that it may be possible that the chlorine of soil is sometimes concentrated in soil solution and causes physiological injury of fine roots. Therefore we had better take care of such a little chlorine contents in the soil. At the sandy beach and the places abutting on the beach line, the chlorine concentration in the soil solutions showed especially high values, namely that of the former were above 0.57 % chlorine and that of the latter were 0.17~0.28 % chlorine. We must therefore consider that the remarkable chlorine contents of those places directly cause a physiological injury of fine roots and may be influence the growth of the plants.

(II) The PH values of the soil and the salt of the soil

1) The relation between PH value and chlorine content of the soil was not clear, provided that the PH values of sandy beach and several places abutting on the beach line at 10 m above the sea was larger than that of the other places. We can know, however, the influence of salts (as chloride combined with chlorine) to PH values of the soil from the fact that the PH values of those places near the neutral.

2) We found scarcely any differences in PH values among each depth of the soils and any differences of PH values depending on change of the height above the sea at the places except the places abutting on the beach line.

3) At the Japanese red pine forest (natural stand) on the granite region along the shore of the Inland Sea, the PH values of the soil were generally 4.2~4.5.

(III) The chlorine contents in the woods and the needles of Japanese pine

A little chlorine was found in the woods and the needles of Japanese pine but the relation between these chlorine contents and that of the soil was not clear.

1) In the woods, the chlorine contents were under 10 mg/100 g dry matter and we found scarcely any differences between j. red pine and j. black pine.

2) The chlorine contents of the needles of j. red pine (sample No. 1—5) were comparatively large and showed 50~90 mg/100 g dry matter, especially that of the j. red pine (sample No. 6) on the sea shore was 0.18 %. But the chlorine content of the needles of j. black pine (sample No. 1—6) was less than that of j. red pine and showed 20~30 mg/100 g dry matter. In the fact just discribed, we may find the characteristic difference in ability to proof against salt injury between j. black pine and j. red pine.

要 旨 山腹植栽用樹木の耐塩性試験の基礎資料の一つとして、広島県宮島および愛媛県大三島で、瀬戸内地帯の花崗岩を母材とするアカマツ林の、環境調査を行なったものの一部であり、土壌中の塩素含有量とその土壌溶液としての濃度の意義、および土壌の PH と塩分量との関連、さらにマツの材ならびに葉に含まれる塩素量の測定結果について検討した。

(I) 土壌中の塩素含有量

土壌中の含有量は、砂浜を除いては、標高 10 m 地区が最も多く、特になぎさ線に直面した地区で著しかった。しかし、なぎさ線からある程度離れた標高 10 m 地区と標高 100 m および 200 m 地区では、10 mg 以下でほぼ近似した値であった。標高 10 m 地区では、土壌の深さとともに塩素含有量は減少する傾向があるが、その他の地区では、土壌の深さの違いによる塩素含有量の差はほとんどない。

なぎさ線の砂浜での、塩素含有量はきわめて高く、直接浸透してくる海水の影響が明らかである。

塩素含有量を土壌溶液中の濃度として考察すると、大部分の林地では 0.016% 以下であり、直接的に樹草の細根の生理障害の原因となる可能性は少ない。しかし、瀬戸内地帯は乾燥しやすく、土壌溶液が濃縮された場合には、生理障害をひきおこする濃度に、容易に達することが可能であり、土壌中の塩素量が比率的に少量であっても、みずぐすことはさけるべきである。特になぎさ線に直面した地区では、0.17~0.28% であり、また砂浜では、0.57% に達するから、これらの地区では、植物の生理化学作用に明らかに影響を及ぼし、その生育に障害を生ずる可能性が強いといえる。

(II) 土壌中の塩分と PH の関係

両者の関係は一般に明りょうでない。ただし砂浜およびびなぎさ線に直面した 10 m 地区では、やゝ大きな値を示し、塩素と結合した塩分の影響がうかがえる。PH の土壌深さによる変化はほとんどなく、瀬戸内地帯の花崗岩を母材とするアカマツ林土壌の PH が、ほぼ 4.2~4.5 の範囲に達していることを示した。

(III) マツの材および葉中に含まれる塩素

マツの材および葉中に塩素が認められたが、その含有量と土壌中塩素含有量との関連は明らかでない。幹材では絶乾物 100 g 中 10 mg 以下であり、アカマツとクロマツで差がない。葉中ではクロマツが 20~50 mg、アカマツが 50~90 mg、特に海岸のアカマツでは 180 mg に達した。

緒 言

われわれは瀬戸内地帯の花崗岩を母材とするはげ山において、山腹植栽工の最終目標とすべき安定林相としてアカマツを上木とし常緑広葉樹を下木とする中林型林相を想定し、その主林木としてのアカマツおよびクロマツの生育について、現地試験¹⁾を行なうとともに、アカマツおよびクロマツの耐塩性に関する、一連の実験結果について報告して来ている。

この報告は、山腹植栽工用樹木の耐塩性試験のための、基礎資料の一つとして、瀬戸内地帯の花崗岩を母材とするアカマツ林の、環境調査を行なったものの中の一部である。

海岸地帯の樹草の塩害については、塩土害、塩風害、塩水害および塩雨害の区別があげられているが、いずれも互いに無関係ではなく、塩害が起こる機構としては次の 2 つが考えられている。すなわち、(1) 植物体内に塩分が浸入し、塩素が細胞内で化学作用により生理障害を起こす。(2) 高濃度の塩分溶液のため、浸透圧が高く、体内水分が奪われ、細胞に水分不足が生ずるための被害。

今までに、塩害あるいはその防除のための防風林の機能の解明の一端として、大気により運搬される塩分量およびマツ類の葉による、塩分捕そく量の分布を知るための、塩素量の分析結果が多数報告されている。しかし、土壌塩分量を推定するための塩素の測定は、砂丘地帯の土壌を対象とするものがおもであり、一般林内土壌中の塩分含有量についての報告は少ない。そこで、われわれは、前記のアカマツ調査林の土壌の塩素含有量を、標高および土壌深さ別に調査し、塩分量を推定するとともに、土壌採取時水分量から土壌溶液中の塩分濃度について検討した。さらに土壌の PH 値を測定し、土壌の塩分量との関係を検討した。他方、塩害の機構の一つとして細胞内に吸収された塩素の生理化学的害作用があげられているので、マツの材および葉中に含まれる塩素量についても検討した。

この報告の内容の一部は文部省科学研究費の交付をうけて行なったものであり、感謝の意を表する次第である。

調 査 場 所

調査場所は広島県宮島で 5 地帯 (表宮島で 3 地帯、裏宮島で 2 地帯) と愛媛県大三島で 3 地帯である。それぞれなぎさ線に直角に山へ向かい、標高 10 m, 100 m および 200 m (汀線からの水平距離は 1 km 内外) の林地合計 22 ケ所と標高 3 m 以下、すなわち宮島の I・II 地帯前面に続く砂浜、III 地帯前面西寄りに続く砂浜のアカマツ稚樹林、および大三島 III 地帯前面に続く砂浜の 4 ケ所である。

宮島の IV・V 地帯の前面あるいはその近くには、砂浜がなく、がけ状に直ちに海に接していたので、この地帯の砂浜での試料がない。

調 査 方 法

それぞれの所で、一辺 20 m の正方形 (0.04 ha) に調査林分を設定し、林分調査を行なうとともに土壌調査も行なった。宮島の調査林分の概況を表 1 に、土壌断面を図 1 に示す。土壌深さ 5 cm, 20 cm および 30 cm から、特に砂浜では 40 cm から試料土を採取し、直ちに重量を測った後、持ち帰り分析に供した。塩素量は土壌の蒸溜水浸出液について“ホルハード法”により定量した。また試料土の採取時含水量を常法で求め、さらに PH 値をガラス電極 PH メーター (堀場・日立製 M-3 型) により測定した。

宮島地区はなぎさ線から中央尾根筋まで水平距離 2 km 程度にすぎないので、他の瀬戸内地区において、海

表 1 宮島のマツ林の調査総括表

Table 1. The summarized table of the pine stands in the inquired areas at Miyajima

調査事項 matters for in- vestigation	地区別 area	生立本数 number of trees in 10 are			平均胸高直径 mean D. B. H. (cm)			平均樹高 mean Height (m)		
		P. d.	P. T.	P. d. T.	P. d.	P. T.	P. d. T.	P. d.	P. T.	P. d. T.
I	h ₁	35.0	0	7.5	35.6	0	61.4	21.5	0	22.5
	h ₂	40.0	0	0	33.8	0	0	25.0	0	0
	h ₃	47.5	0	0	27.9	0	0	15.0	0	0
II	h ₁	27.5	0	0	40.4	0	0	23.0	0	0
	h ₂	35.0	0	0	36.6	0	0	22.5	0	0
	h ₃	100.0	0	0	21.9	0	0	15.5	0	0
III	h ₁	37.5	2.5	0	38.0	26.0	0	21.0	22.0	0
	h ₂	27.5	0	0	37.6	0	0	31.5	0	0
	h ₃	22.5	0	0	49.0	0	0	30.0	0	0
IV	h ₁	45.0	0	0	35.0	0	0	15.5	0	0
	h ₂	20.0	0	0	45.0	0	0	23.0	0	0
	h ₃	30.0	5.0	0	31.5	22.1	0	17.0	16.0	0
V	h ₁	5.0	25.0	10.0	34.8	42.8	44.7	20.5	22.5	22.0
	h ₂	35.0	0	2.5	40.7	0	45.0	32.0	0	33.0
	h ₃	32.5	0	0	43.0	0	0	36.0	0	0

h₁: 10 m }
 h₂: 100 m } above the sea.
 h₃: 200 m }

P. d. : Pinus densiflora
 P. T. : Pinus Thunbergii
 P. d. T. : Pinus densi-Thunbergii

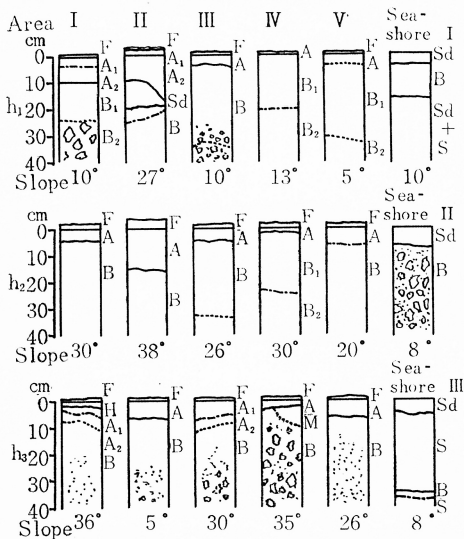


図 1 調査地の土壌断面図 (宮島)
 Fig. 1 Soil profile of sample plots
 at Miyajima

岸から数 km 離れた山中からアカマツおよびクロマツのおの 5 本と、海岸線から 1 本あてを選び、おのおの胸高から円板を、枝から葉を採取し持ち帰り、円板は皮をはぎ、葉は外側を充分水洗いした後、乾燥粉碎し得られた均質な粉末の一定量をはかり取り 10% Na₂CO₃ 水溶液で処理した後、550°C で焼いて得た灰分²⁾を蒸溜水で浸出した液について、塩素量を“ホルハード法”により定量した。

塩素量はすべて、それぞれの絶乾物 100 g に対する mg 数で示した。

結果と考察

(I) 土壌中の塩素含有量について

土壌中の塩素含有量の変化を、図 2 に示す。同一標高の塩素含有量をみると、標高 10m における含有量が最も多く、100m における含有量は著しく少なく、200 m における含有量と大きな差がない。しかし、標高 10 m での含有量は、なぎさ線からの水平距離に著しく影響されることがわかる。すなわち、なぎさ線の前面に砂浜がなく、海に直面したところの宮島 III~V 地帯および大三島 II 地帯の標高

10mにおいては、他のなぎさ線との間に砂浜をはさんでいる地帯に比べて、塩素含有量が非常に多く、宮島I地帯の前面の砂浜に類似した値を示した。これは前述のように、これらの地帯の標高10mの地点が、なぎさ線のがけ上であって、全く砂浜をはさむことなしに海に接するため、直接海風あるいは波浪を受けるためと思われる。海岸の砂浜からなだらかな傾斜で続く宮島I・II地帯および大三島III地帯では、標高の違いによる含有量の著しい変動があるというほどではなく、大部分、乾土100g中塩素10mg以内である。

各地区について、土壤中の垂直分布をみると、標高10mの区の5cm深さに最も多く、20cmから30cmと減少しているようである。しかし、標高100mおよび200mにおいては、深さによる違いはほとんどないといつてよい。海浜の塩素含有量を図2でみると、砂浜が完全な海砂の層からなるか、あるいは海砂に陸地土壌が著しくまじった層からなるか、

また陸地がなだらかな傾斜で海に続き、その上に比較的浅い海砂をたくわえた砂浜であるか、などにより、塩素分布の様相が異なるようである。純砂層では、海水の浸透あるいは浸入が容易であるが、陸地土層が張り出した層では、砂層ほど容易に海水は浸入しない。この違いが海浜の塩素分布に、決定的影響を与えるのであろう。

塩分が土壌に供給される経路については、台風や強い季節風が内陸に向かって吹くときに、海水の飛まつが運ばれ地上に落下するのが第一にあげられる。落下量は風速の大小、海岸からの距離および障害物などによって左右される。障害物がないとき海岸からDの距離の地点の単位面積中に単位時間に落下する塩分量Q(Cl量mg/m²・hr)は、経験的に次式³⁾であらわされている。

$$Q = e^{f_1(u)} D^{-f_2(u)}$$

ただし、eは自然対数の底、uは平均風速であり、f₁およびf₂の関数形については観測例により値が異なるため、いまだ普遍性のあるものはない。北および綾⁴⁾が瀬戸内海で季節風の際に、潮風により飛来した塩分量を調査し求めた実験式では

$$Q = e^{0.34u+0.8} D^{-1} \text{ であった。}$$

台風が上陸するときには、多量の塩分を含んだ、いわゆる塩雨が降ることが多く、土壌に塩分を供給する大きな因子といえる。第二室戸台風の際の(昭和36年9月17日)、内陸での降下塩分量の調査結果⁵⁾では、海から500mの場所で13.10g・Cl/m²(131mg/100cm²)であり、20km離れた場所では3.06g・Cl/m²(30.6mg/100cm²)であった。

竹内その他⁶⁾によると、大気によって運ばれる塩素量は、降雨を採取し“モール法”で定量したところ、1.0、2.0あるいは4.0mg/lなどの値が得られ、多いときは7.0mg/l以上あったという。従って大気から降雨により、直接林地に供給される塩素量は、年降雨量1500mm(瀬戸内地帯の平均)のすべてが、塩分を運ぶものと仮定した場合、100cm²の林地に15~70mgあるいはそれ以上の塩素量が、年々供給されることになる。また降雨のない日に潮風によって運ばれ、マツその他の葉や樹体に付着する塩分量⁷⁾⁸⁾も相当あるから、葉や樹体から降雨に洗われて、林地に供給される塩素量は一層増加する。

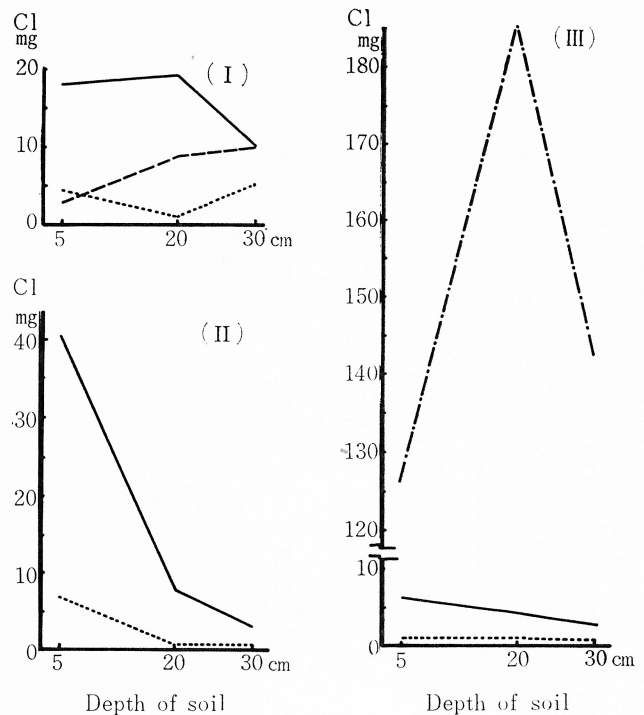
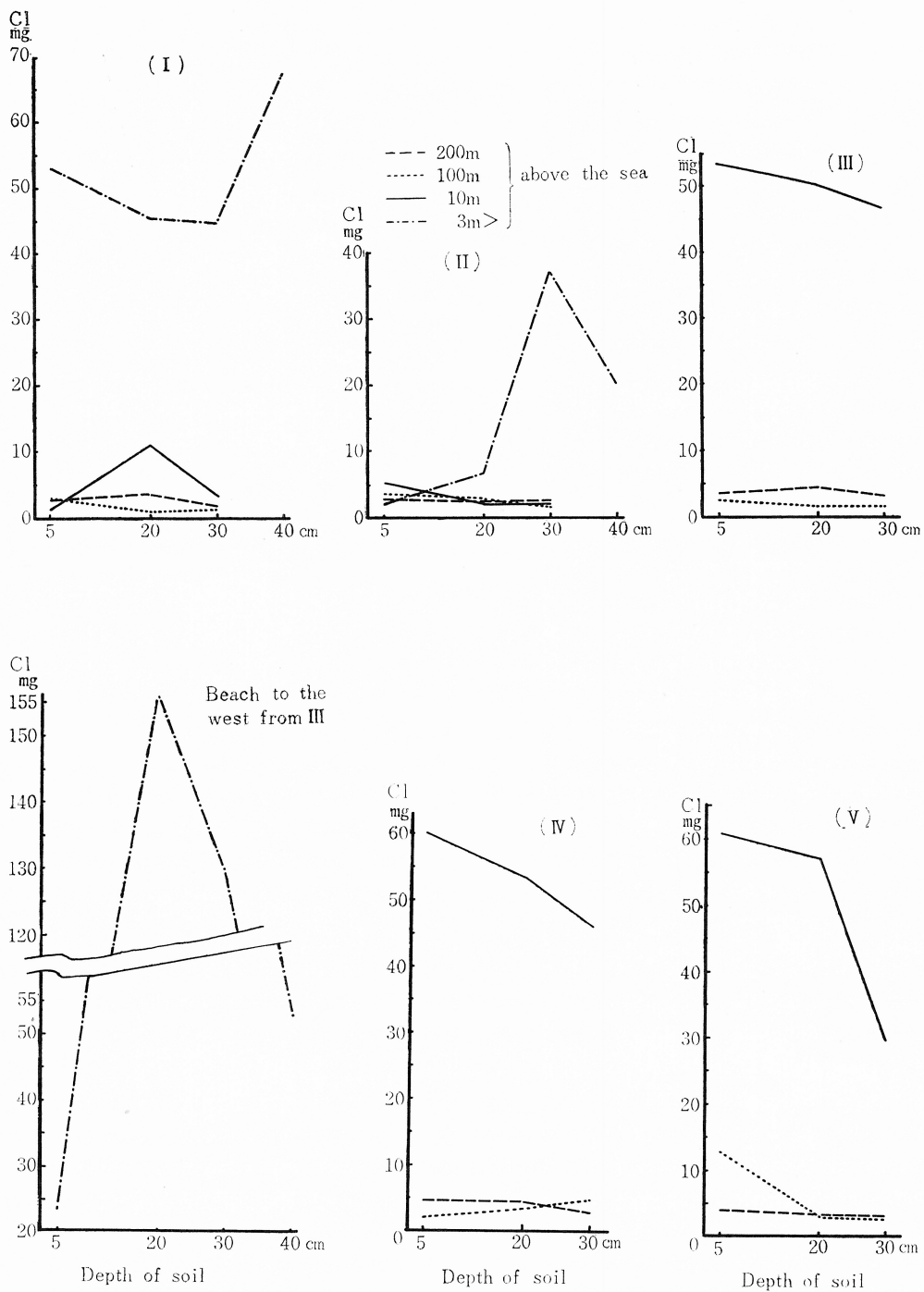


図2 大三島 Omishima



宮島 Miyajima

図 2 土壤の塩素含有量と標高および土壌深さとの関係

Fig. 2 The relation between chlorine content of soil and height above the sea or depth of soil

表 2 採取時の土壌水分量と土壌溶液中塩素濃度

Table 2. Water contents in fresh soil and Chlorine concentrations in soil solution

地区 area	標高 Height above the sea	土壌深さ Depth of soil (cm)	10 m			100 m			200 m			3 m >			
			5	20	30	5	20	30	5	20	30	5	20	30	40
土 壌 水 分 量 Water contents in fresh soil %															
宮 島 Miyajima	I	23.98	28.46	26.31	27.09	28.45	29.24	—	23.09	21.58	43.58	22.68	30.08	11.83	
	II	43.53	28.45	25.71	54.90	42.61	41.23	67.26	53.45	52.73	11.67	51.11	49.30	43.04	
	III	30.60	26.45	22.69	18.37	17.10	16.98	26.90	19.93	20.62	(18.98)	(32.83)	(26.81)	(30.59)	
	IV	29.86	27.77	22.92	22.27	24.69	20.89	23.14	23.52	29.02	—	—	—	—	
	V	23.36	20.59	17.55	28.99	22.51	21.44	40.85	22.66	20.70	—	—	—	—	
土 壌 溶 液 中 塩 素 濃 度 Chlorine concentrations in soil solution %															
宮 島 Miyajima	I	0.005	0.038	0.013	0.012	0.004	0.004	—	0.016	0.010	0.121	0.200	0.148	0.570	
	II	0.011	0.006	0.007	0.006	0.006	0.004	0.004	0.005	0.005	0.016	0.013	0.075	0.047	
	III	0.174	0.190	0.205	0.014	0.010	0.010	0.014	0.022	0.015	(0.118)	(0.473)	(0.484)	(0.173)	
	IV	0.202	0.192	0.200	0.010	0.014	0.022	0.020	0.020	0.010	—	—	—	—	
	V	0.263	0.279	0.173	0.045	0.012	0.012	0.010	0.012	0.014	—	—	—	—	

() : values of sandy beach at a little to the west from III area

このように多量の供給がありながら、実際の林地土壌の塩素含有量は前述のとおりであり、表2に示した土壌採取時含水量とあわせて考察してみると、塩素がアルカリ塩として土壌中水分に完全に溶解するとしても、その濃度は、標高10m区のなきぎ線を除くと、大部分は0.016%以下(表2)である。表3は山本その他⁵⁾による第二室戸台風2日後の潮風害のはなはだしかった耕地の、塩分量調査結果であるが、海岸から相当隔たった畑地でも、地表近くでは台風により運ばれた塩分の影響がうかがえるのに対し、少し地中に入ると塩素量がきわめて少ない。しかし、台風による塩分の多量降下

は、一時的現象であり、前掲の台風時塩分降下量の観測値は、海岸から500mの所で131mg·Cl/100cm²であり、また20kmの所では30.6mg·Cl/100cm²であるから、表3の表層土の塩素量にほぼ対応する量であることが推察されよう。したがって、台風に影響される以前の、通常の地表附近土壌中塩分量が、相当に低かったであろうことは、容易に想像できよう。さらに、前に一時的の多量の塩分供給があり、その影響が観測当時にまで残っていたとすれば、雨水による表層から地中への浸透により、下層の土の塩素含量も相当に大きくなってよいはずである。しかし、実際にはきわめて少ないのであるから、供給された大部分は、降雨などにより他へ移動していると考えてよいであろう。われわれの観測結果でも、標高100mおよび200mの所では、海岸からの距離が1km内外で

表 3 第二室戸台風2日後に潮風害の甚だしかった渥美半島各地の耕地の塩分量(山本原表⁵⁾)

Table 3. Chlorine contents of soil in cultivated field at Atsumi peninsula where severely suffered see-breeze injury after 2 days since passage of the 2nd Muroto typhoon

採取場所 District	和地 Waji	川尻 Kawajiri	保美 Hobi	保美果樹園 Hobi Orchard
土 壌 深 さ Depth of soil	Cl·mg/100 g dry soil			
0 ~ 2 cm	106.4	70.9	106.4	70.9
9 ~ 11	8.8	17.7	26.6	8.9
19 ~ 21	—	8.8	—	—
海岸からの距離 Distance from beach	100 m	100 m	3 Km	3 Km

台風後採取時まで降雨はない

It was dry weather until when picked up sample soil after passage of the typhoon

あり、かなり多量に供給されるとしても、雨水などにより流失する量も多く、結局は、大部分の地区で乾土 100 g 中 5 mg・Cl 以下の含有量を示したのであろう。

ただ、なぎさ線に直面した地区（最大値、乾土 100 g 中 60 mg 以上）、あるいは砂浜（最大値、乾土 100 g 中 180 mg 以上）においては、潮風や波浪あるいは海水自体の浸透による直接的供給量が多いため、現存量も多くなるものと思われる。

ここで、土壤の塩素濃度を、樹草に対する影響の程度から検討してみよう。岩城⁹⁾によると、水稻の耐塩性に関する実験の結果、塩害は塩水処理により、水分吸収が著しく抑制されることから生ずるとし、NaCl 溶液を加えた土壤では、0.1%で稲に障害があらわれ、又砂耕では、溶液中の全塩濃度 0.1~0.3% で稲に障害があらわれ始めるという。また塩害の様相は、気象や土壤肥料（たとえば N の多量施用）など環境条件の相違によって異なることを指摘している。NaCl 濃度 0.1%は Cl 濃度では 0.06%であるから、上述の調査林地土壤の大部分の塩素の水溶液濃度 0.016% 以下というのは、岩城その他により指摘された、植物の生育に障害を与える限界から、はるかに低い値であるといえる。

しかし、門田¹⁰⁾は、塩害は同じように浸透圧の増加による水分吸収の阻害に起因するとしながらも、クロマツの根の NaCl による呼吸阻害を測定した結果、NaCl の 5~10 mM の低い濃度でも呼吸阻害があらわれるという。この濃度は約 0.029~0.058% の NaCl 濃度であり、Cl 濃度にするとも 0.017~0.035% の低濃度である。この結果にもとづいて、表 2 の土壤溶液中の塩素濃度を考察してみる。標高 10 m 区のなぎさ線から離れた所や、標高 100 m および 200 m 区でも、所によって 0.038% や 0.045% などの値を示すが、多くは 0.016% 以下である。したがって大部分の林地の塩素濃度は、直接的に樹草の細根の生理障害の原因となる可能性が少ないものと思われる。しかしながら、本調査は夏期晴天の続く間に行なわれたものであるにもかかわらず、含水率（表 2）からみるとさらに乾燥が続き、土壤溶液が濃縮される可能性も考えられる。その場合には、相当数の地区で、細根の生理障害をひきおこす濃度に、容易に達することが考えられるから、土壤中の塩素量が比率的に少ないからといって、単純にみすごすことはさけるべきであらう。

これに対し、標高 10 m のなぎさ線に直面した林地や標高 3 m 以下の砂浜では、いずれも相当の呼吸障害を生ずる濃度であるから、樹草の正常な生育、とくに幼樹の生育には、きわめて不利な状態に常にあるといえることができる。

(II) 土壤中の塩分が PH に及ぼす影響

土壤の PH 測定結果は、表 4 および図 3 に示すように、砂浜を除くと、4.2~4.5 の範囲に集中している。土壤中の塩素はおも

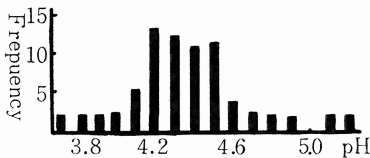


図 3 土壤中 PH の度数分布

Fig. 3 The frequency distribution of PH in soil.

表 4 土 壤 の PH

Table 4. PH values of fresh soil

標 高 Height above the sea		10 m			100 m			200 m			3 m >				
		5	20	30	5	20	30	5	20	30	5	20	30	40	
地 区 area	土 壌 深 さ Depth of soil (cm)														
	宮 島 Miyajima	I	4.2	4.2	4.1	4.0	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	6.8	6.1	5.6	5.6
II		4.3	4.4	4.2	4.4	4.2	4.0	3.8	4.2	4.3	7.2	7.3	7.1	6.9	
III		3.7	3.7	3.8	4.2	4.3	4.3	4.2	4.3	4.7	(4.3)	(4.1)	(4.2)	(4.3)	
IV		4.9	5.1	4.5	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	—	—	—	—	
V		5.2	4.3	4.4	4.3	4.4	4.8	4.5	4.5	4.3	—	—	—	—	
大 三 島 Omishima	I	4.5	4.3	4.4	4.6	4.6	4.5	4.6	4.5	4.4	—	—	—	—	
	II	4.5	4.4	4.2	4.5	4.4	4.4	—	—	—	—	—	—	—	
	III	4.3	4.5	4.5	4.4	4.5	4.7	—	—	—	—	—	—	—	

() : values of sandy beach at a little to the west from III area

にアルカリ金属の塩化物、なぎさ線近くあるいは砂浜では、明らかに Na Cl および Mg Cl_2 として供給される。したがって、砂浜では海水により繰り返し飽和される結果、土壌粒子に対する Na の置換浸入が繰り返される。また純砂層では、土壌の置換容量はきわめて小さく、 PH も中性に近い状態にある。このような地帯では、植物体により生産される酸性物質の影響がなければ、その PH は、他の地帯の土壌のそれに比べて著しく中性側に近づくはずである。調査結果においても、なぎさ線に直面した地区若干と砂浜において、その傾向がうかがえる。しかし他の地帯では、なんら塩分の影響をうけないようである。砂浜でも陸地土壌がなく、断面構造からみても海水の直接浸入が可能な所では、 PH が著しく緩和され、中性に近い値を示した。また宮島Ⅲ区の前面西寄りの砂浜は、海水の浸入をうける状態にあるのであるが、アカマツ稚樹林であるため、植生の影響をうけ、砂浜土壌の PH は相当強い酸性を示した。

一般的にいって、土壌の深さの違いによる傾向は明らかでなく、また海岸からある程度離れてしまうと、標高の違いによる PH の変動もはっきりしない。しかしながら、これらの測定結果は、この地帯の花崗岩を母材とするアカマツ林土壌の酸性の程度を示すものといえよう。

(Ⅲ) マツの材および葉中に含まれる塩素量について

マツ類の栄養として塩素が必要でなく“本来は全く含有されないもの¹¹⁾”であるのかもしれないが、林地土壌中に相当量の塩素が含まれている場合は、その若干量が他の栄養物と同時に、吸収され蓄積される可能性が考えられる。また海岸のマツ類の塩害発生機構については、前述のように「塩害の発生機構は、おもに土壤溶液あるいは植物体内細胞の浸透圧の上昇に伴う、水分吸収阻害にある」とする考えとともに、「細胞内に吸収蓄積された多量の塩素により、化学的に生理障害を起こす」という考えも支持されている。すなわち田川その他¹²⁾による水稻の実験では、「水稻体内に蓄積される塩素量の消長は、塩害の損傷程度を示すところの主稈塩害枯葉率〔=塩水処理区主稈枯葉率-対照区主稈枯葉率、ただし、主稈枯葉率=(主稈枯葉数/主稈葉数)×100〕や重量増加に対する抑制率の消長と類似していること、その他から、塩害のおもな原因を、体内に蓄積した塩類の生理作用に基づくものと推論することができよう」といっている。また山本その他¹³⁾は、「浸透圧の増大による水分の吸収移行の阻害、および過度蒸散による体内水分の不足、などの生理的影響とともに、体内に浸入した塩素が、生化学的害作用をおこす」として、塩風による作物の異常落葉の過程図を示した。これらの考えを尊重するならば、マツ体内に吸収蓄積される塩素量が多ければ、マツの細胞の内部から、障害発生の可能性も考えられてくる。

表5に示された分析結果を見ると、材および葉とも、相当量の塩素が検出された。海岸のマツ(試料 No. 6)および海岸から数km離れた山中のマツ(試料 No. 1~5)に、同じように検出された。このことが本来マツに塩素が含まれることを意味するのか、あるいは土壌中に塩素が存在するために、吸収蓄積されたにすぎないのか断言できない。また材中に比べて葉中に非常に多いが、これが土壌から根により吸収され、葉に移動し蓄積されるものであるのか、あるいは直接葉面に付着し、葉面から浸透あるいは吸収され蓄積されたのか、不明確であるが、葉中の塩素含有量が、材中のそれより多い点は、他の諸栄養素の樹体内での蓄積と同じ傾向を示すものであり、おそらくは根および葉面の両方から吸収されたものの和であろう。

アカマツとクロマツとで比較すると、材中の含有量には、差がある程ではないが、葉中の含有量は、アカマツがクロマツより多いといえるようである。特に海岸のアカマツの葉に多く含まれており、ここでは資料が少な

表5 マツの材および葉中に含まれる塩素量

Table 5 Chlorine contents in woods and needles of japanese pine

試料番号 Sample no.	塩素含有量 Cl·mg/100 g dry matter				
	アカマツ Pinus densiflora		クロマツ Pinus Thunbergii		
	材 wood	葉 needles	材 wood	葉 needles	
on hills of	1	9 mg	71 mg	6 mg	21 mg
several Km	2	8	92	4	28
distance	3	5	81	3	44
from the	4	—	54	5	48
beach line	5	6	62	5	—
(on a beach line)	6	9	180	10	33

く論じにくいのであるが、今後の検討を示唆しているように思われる。

前述のように林内土壌中には、若干の塩素が含有され、しかもなぎさ線あるいは砂浜では、相当多量に含まれているのであるから、マツの材および葉の中に塩素が当然吸収蓄積されるものと思われる。葉中あるいは材中の塩素含有量と土壌中の塩素含有量の多少との関係は、本資料だけでは推論が困難である。

結 論

調査地土壌の塩分量を示すところの塩素含有量は、いろいろな形で供給され相当な量に達するはずであるが、測定せられた値は少なく、供給量の大部分が、降雨などにより、流失しているものと思われる。砂浜およびなぎさ線に直面した標高 10 m 地区では含有量が多く、前者では乾土 100 g 中 185 mg に達し、後者では 60 mg に達した。その垂直分布は表層から地中へ入るにしたがって、ほぼ減少する傾向がみられた。

なぎさ線から遠ざかった標高 10 m 区、標高 100 m および 200 m の区においては、大部分が乾土 100 g 中 5 mg 以下で、2~3 の地区で 10 mg に達する程度であった。これらの地区では深さによる変化はほとんどない。

土壌中の塩素含有量を土壌溶液中での濃度として考察した時は、砂浜では 0.57% 以上、なぎさ線に直面した地区では 0.17~0.28% である。したがって、この地区では、土壌中の塩分による、樹草に対する生理化学的害作用が常時考えられる。砂浜およびなぎさ線に直面した地区を除いた他の地区では、0.016% 以下であり、直接的には樹草の細根の生理障害の原因となる可能性は少ない。しかし、乾燥が著しい場合には溶液の濃縮化が容易に起こり、生理障害を起こす濃度に達することも可能である。しかも、瀬戸内地帯はこのような著しい乾燥が、起こり易い地域であることはいうまでもない。

土壌の PH は、大部分 4.2~4.5 の範囲にあり、標高の違い、あるいは土壌深さによる差はほとんどなく、また、土壌中に含まれる塩分の影響も明らかでない。ただ、なぎさ線に直面した区および砂浜では、酸性がいくぶん緩和された値、すなわち中性に寄った測定結果がえられ、塩素と結合して存在する塩分の影響がうかがわれた。

マツの材および葉中の塩素量は、植物の塩害の一機構として、体内に浸入した塩素の生理化学的害作用が考えられていることから、重要な意味を持つものである。幹材中には絶乾物 100 g に対し 10 mg 以下であり、アカマツとクロマツで差はない。葉中には相当多く、乾物 100 g 中アカマツで 50~90 mg クロマツでは 20~50 mg であり、アカマツに多いといえそうである。特に海岸のアカマツには 180 mg 含まれ、クロマツとの差が著しい。これはただ一例にすぎないので、特異な例か否かわからないが、塩分に対する根の選択吸収性能の違いその他の点について、アカマツとクロマツの耐塩性を検討する上で、今後の調査検討が肝要である。

文 献

- 1) 山田藤吾・伏見知道：愛媛大・農・演習林報告. No. 5, 1967
- 2) 奥田東：植物栄養生理実験書. 221, 朝倉書店, 東京, 1955
- 3) 大後美保：農林防災. 490~498, 共立出版, 東京, 1967
- 4) 北勲・綾武：強風による海水塩分の散布, 産業気象調査報告, 23, 気象庁, 1959
- 5) 山本良三・石川雅士・朝倉参：作物の潮風害防止に関する基礎的研究. 伊勢湾台風災害の調査研究報告, 149~153, 名古屋大学災害科学調査会, 1964
- 6) 竹内丑雄・中沢全一：降水中の塩素量と気団との関係. 気象集誌. II, No. 29, 96, 1951
- 7) 熊谷才蔵：クロマツの葉の塩分捕捉量. 65 回日林講, 1956
- 8) 玉手三稜寿・佐藤正・檜山徳治・高橋亀久松：防風林による海風中の塩分減少効果に関する研究. 農林試研報, No. 100, 1957
- 9) 岩城鹿十郎：水稻の塩害に関する研究. 愛媛大学紀要, 第六部, 2 卷, No. 1, 44~45, 1956
- 10) 門田正也：海岸砂地のクロマツの塩害に関する生理生態学的研究. 名古屋大・農・演習林報告. No. 2, 9~25, 1962
- 11) 額綱理一郎：生理植物学, 311, 明文堂, 東京, 1949
- 12) 田川隆・石坂信之：水稻の塩害に関する生理学的研究：日本作物学会紀事. 31, 337~340, 1963
- 13) 山本良三・その他：前掲, 154~159, 1964

(1968 年 9 月 14 日受理)