

香 川 大 学 農 学 部 紀 要

第 15 号

1963 年 3 月

MEMOIRS OF FACULTY OF AGRICULTURE  
KAGAWA UNIVERSITY

No. 15, March, 1963

種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツ  
およびクロマツ林の成立に関する研究

浅 野 二 郎

香 川 大 学 農 学 部

香川県木田郡三木町

FACULTY OF AGRICULTURE, KAGAWA UNIVERSITY

Mikityô, Kagawa-ken, Japan

# 香川大学農学部紀要

第15号

1963年3月発行

各研究室の業績を発表するため、学部では“香川大学農学部学術報告”を発行しており、本年度（1962-63年）は第14巻となっている。研究の完成した比較的長い論文を発表するため、この“紀要”が発行されている。既刊の標題は別記のとおりである。“学術報告”および“紀要”の交換または寄贈については、香川県木田郡三木町 香川大学農学部 あてに照会されたい。

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

No. 15, March, 1963

The Faculty of Agriculture, Kagawa University is publishing “Technical Bulletin” (Gakuzyutu Hōkoku) (Vol. 1 in 1949-50 to Vol. 14 in 1962-63) as well as “Memoirs” (Kiyō), which contains more or less extended treatises. This titles of each number of “Memoirs” are printed on the third page of the cover. Correspondence concerning the exchange of publications should be directed to Faculty of Agriculture, Kagawa University, Mikityō, Kagawa-ken, Japan.

1963年3月15日印刷 1963年3月20日発行

香川県木田郡三木町  
香川大学農学部

印刷所  
(本文) 高松市鍛冶屋町  
香川印刷株式会社

(図版) 京都市中京区新町通竹屋町南入  
株式会社 便利堂

# 種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツ およびクロマツ林の成立に関する研究

浅 野 二 郎

A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside Areas, giving due  
Consideration to the Salt Resistance of the Seeds

Jiro ASANO  
(Laboratory of Forestry)

## 目 次

第1章 緒 論	3
第2章 アカマツおよびクロマツ種子の耐塩性	5
第1節 アカマツおよびクロマツの天然分布	5
1 アカマツの天然分布	5
2 クロマツの天然分布	5
3 アカマツとクロマツのすみわけ	5
4 アイグロマツの問題	6
第2節 アカマツおよびクロマツの発芽と耐塩性との関係	11
1 海塩の存在と発芽との関係	12
2 海水の塩類組成成分と発芽との関係	16
第3節 アカマツおよびクロマツ種子内の塩分々布	18
1 生体染色による観察	18
2 化学分析による塩分の定量	20
第4節 過剰塩分とアカマツ種子中の遊離アミノ酸との関係	22
1 実験方法	22
2 実験結果と考察	23
第5節 摘 要	24
第3章 海岸林に対する海塩の搬入とその分布	25
第6節 海岸林地に対する海塩の搬入	25
1 海塩粒子の発生機構	25
2 海風中の塩分量	26
3 降水中の塩分量	27
第7節 海岸土壌の含塩量	28
1 水平的分布	29
2 垂直的分布	30
第8節 土層模型による実験	32
1 実験方法	32
2 実験結果と考察	33

3 総 括	37
第9節 マツ針葉に対する着塩量	38
1 枝葉部への着塩	38
2 塩分の付着量	39
3 測定結果と考察	40
第10節 摘 要	43
第4章 塩分と土質との関係	44
第11節 土壌コロイドの定量と電子顕微鏡による観察	44
1 土壌コロイドの定量	44
2 電子顕微鏡による観察	47
第12節 摘 要	47
第5章 現実林に対する実験的研究	48
第13節 海岸林土壌の着塩量	48
1 調査地と調査法	48
2 調査結果と考察	48
第14節 海岸林における種子の発芽ならびに苗木の成立の問題	50
1 海岸林における天然生稚樹発生の状況とそれに関する論議	50
2 天然生稚樹の発生促進に関する実験とその結果	54
3 考 察	54
第15節 摘 要	55
第6章 総括および結論	56
文 献	57
Summary	61
図 版	Pl. 1-6

## 第1章 緒 論

海岸林——それは汀線に近く展開する一植生であり、海岸という独特の環境条件によって、その構成する植生は特異の形相をとる。

一般に、森林植生を大局的に決定する要因は、主として、温度と水と土の3大因子とみてよいであろうが、しかし細部的には、その他のいろいろの環境条件がそれに関与することもまた明瞭な事実である。

このような森林に対する環境作用と同時に、森林が環境を改変し、新しい環境をつくり出す働き、すなわち森林のもつ環境形成作用もまた、きわめて重大であり、それが、現実、海岸林をあらゆる面で、その存在を有意義なものとする反面、その内包する森林生態学的問題を複雑化しているともいえる。

海岸林は、もちろん種々の樹種によって成立するが、我が国においては、とくに、それがマツ林によって占められている面積がきわめて多く、したがって海岸林経営の主体は、マツ林の経営にあるとみても、それほど大きな誤りはないであろう。

しかして、周囲を海で囲まれる我が国では、自然、海岸林のもつ役割も大きく、それゆえ、海岸マツ林のもつ重要性も、それにともなって大きいといわねばならない。

一面、海岸マツ林は古くから海岸防風林として、その保護的効果を広く認識はされてきているものの、育林的には、その取り扱い方が、必ずしも合理的におこなわれているとはいえず、したがって海岸地帯にその優良林分をさがし出すことは、むしろ困難な現状である。

この現状を打破して、優良林分を育成することはあらゆる面から、きわめて重要であることはすでに論をまたないであろう。

しかして、海岸林の合理的な取扱いは、その置かれている特異的な環境条件との相互作用を生理的、生態的な側面から把握し、それを育林技術の上に反映させてこそ実現できるものと考える。

筆者はこのような観点から、とくに海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林に対する、合理的な取扱いを目標として、海岸地帯のもつ独特な環境条件——主として多量の塩分の存在と、卓越する潮風——下に展開するアカマツ林およびクロマツ林の生態学的問題を、主として両種の生理的な断面から検討した。

したがって、その研究の場で取り上げられた問題は広く、勢いその取り上げ方は並列的とならざるをえず、それゆえ、その個々の問題に対する掘り下げ方には、必ずしも完璧を期しえないうらみを多分に残しはしたが、しかし幸にもこの面については、それぞれの各専門分野における専門家各位の御好意と御援助と御協力をえて、一応所期の成果を得ることができた。

なお、本論文における問題の取り上げ方は、一見、森林に対する個体の生態学的究明に、その目標がおかれているかに見受けられるかもしれない。しかしながら、樹木が森林として成立する以上、森林の内包する本質的な問題は、少なくとも、森林を育成するという立場においては、植物群として、さらにはそこに構成される一つの生態系としての森林という断面でとらえられるべきものであろう。

すなわち、本論文の指向するものも、単なる個体の生理ではなく、最終的にはそこに帰結するべきものであり、その出発点として、あるいは基盤としての個体について、その個体の示す独自の生理生態的側面に、主として研究の主眼をおいた点に本論文の真意を求めたいのである。

しかして、本論文において取り上げた主題は、海岸地帯における特異環境条件として、最も主導的な役割を果たしている、海塩の問題であり、それが、アカマツおよびクロマツの自然分布と生長とをどのように規制するかについて、究明する点におかれた。

なお、本論文に一貫して考えられていることは海岸地帯における海塩の植物および土壌に対する影響であり、それは、一般に塩害として、概括されるものであるが、厳密な定義にしたがえば、松平康男氏の提唱するように、それはあるいは潮害、あるいは潮風害と呼称されるべきものであるかも知れないけれども、この論議は他の機会にゆづり、本論文では、特定の場合を除き慣例にしたがって、主として塩害なる用語を用いることとした。

本研究は、京都大学農学部 四手井綱英教授の御指導のもとにおこなわれたものであり、細部については、同・岡崎文彬教授、同・上田弘一郎教授（現・京都大学名誉教授）、京都大学理学部 畠山伊佐男助教授および、

同・今泉 正氏の御指導をいただいた。

また、電子顕微鏡による研究には、主として、徳島大学医学部 高島律三教授および同大学工学部長 松田亮一教授の特別の御好意により同大学医学部中央研究所々属の諸設備を借用させていただいた。また、炎光分析は、京都大学農学部四手井研究室において、同・堤 利夫助教授の全面的な御協力をえておこなわれた。

現地調査に当っては、金沢営林署長 藤本公雄氏（現・大阪営林局造林課長）、新潟県林業試験場長 近藤重雄氏、同技師 阿部正博氏、大間々営林署長 瀬川 淳氏、福井営林署長 岩崎芳一氏、同管理官 向井一夫氏、同技官 井田利夫氏、同技官 田端 忍氏、および敦賀営林署長 西尾辰実氏の、また、試験林の使用については、高松営林署長 藤野勘十郎氏（現・高知営林局監査課長）および、福井営林署長 岩崎芳一氏の格別の御取計らいをいただいた。

また、大阪管区気象台高松測候所、および関西電力K. K. 副調査役 村上 誠氏、同・工務部 村田孝一氏、東北電力K. K. 東新潟変電所長 伊藤 剛氏、日本積雪連合研究部長 古川 巖氏には貴重な資料の貸与、御助言、御協力をいただいた。

さらに、土壌、海塩などの問題については、本学 玉置鷹彦教授、青木利夫教授、吉良八郎教授、上原勝樹教授より種々御教示をいただいた。

なお、本研究は、本学 星川玄児助教授、榑崎丁市助教授の適切な御助言と御協力により、吉田重幸助手ならびに専攻学生諸君の協力によってなされた。

ここに、各位に対して深甚なる感謝の意を表する次第である。

## 第2章 アカマツおよびクロマツ種子の耐塩性

### 第1節 アカマツおよびクロマツの天然分布

アカマツおよびクロマツの天然分布の研究について、局地的調査についての報告は、各営林局署や府県などの調査のなかに散見できるが、全国を通じて総括的にまとめた報告としては、林<sup>(1)</sup>の研究を第一にあげることができるであろう。

林は調査の目標を天然林におき、その単位は、林分はもちろん単木についても記載の対象として取り扱った。とくにここで重要な点は、上木が明らかな人工植栽の場合でもその林下に稚樹が多数発生し、どんどん更新しているようなところは天然生林として取り扱ったことで、このような取り扱いについてはいろいろ論議はあるであろうが、林木の自然成立の可能性を基盤として天然林をみる立場からすれば、この取り扱いにあえて不都合を感じないであろう。

しかして、このような取り扱いは、多くはアカマツおよびクロマツにおいてみられたという。いま、アカマツおよびクロマツの天然分布の実態を林の調査報告<sup>(1)</sup>から抜粋すれば、1および2の通りである。

#### 1 アカマツの天然分布

アカマツは日本のほか、朝鮮、遼東半島、満州、ウスリーなどに広く分布し、日本における天然分布の北限地は、北海道国胆振支庁、苫小牧市樽前山麓北緯約42°40'で、厳密な意味での天然分布の北限地は、青森県下北郡大間町の、北緯約41°31'、また南限地は、屋久島南部前岳地域で、北緯約30°15'である。

垂直分布の範囲については、東北地方では、海拔約5mの海岸から1200m、関東地方では、海拔約2~3mの海岸から1800m、中部地方では、海拔2~3mの海岸から1200m、四国地方では、海拔2~3mの海岸から1200m、九州地方では、海拔約2~3mの海岸から1400mのあいだで、生育地の最高は長野県南佐久郡大山頂上の小群生のものであり、この地点は海拔標高約2290mであるが、全般的に見ると、東北地方では海拔約100mから500mぐらいまで、関東地方では海拔約100mないし200mから1200mぐらいまで、中部地方では海拔約100m乃至200mから1400mぐらいまで、近畿、中国、四国、九州の各地方では、海拔約100m乃至200mから1000mぐらいまでのあいだにおいて最もよく生育する。

#### 2 クロマツの天然分布

クロマツは日本および朝鮮南部に自生する。日本の天然分布の北限地は、青森県下北郡大間崎で北緯約41°34'であり、その南限地は鹿児島県吐噶喇群島の宝島で、北緯およそ29°である。クロマツは各地方の沿海地に美林が見られるが、垂直分布の範囲は、ところにより相違があり、東北、関東では大体海岸線から、海拔約500~400mまで、中部地方では、大体、海岸からおおよそ海拔500~600mまで、近畿、中国、四国、九州の各地方では海岸線から海拔800~900mぐらいまでである。

生育地の最低は、各地方の海拔0mで、最高は鳥取県西伯郡の豪田山頂上で、海拔およそ900mである。

全般的に見ると、東北、関東、中部各地方では、海拔200~300mまでの沿海地、近畿、中国、四国、九州の各地方では、400~500mまでの沿海地あるいは比較的海に近い山地などに最もよい生育をしていて、海岸および沿海の河川下流の凹地などでは海面以下にしばしば成林をみる場合がある。

#### 3 アカマツとクロマツのすみわけ

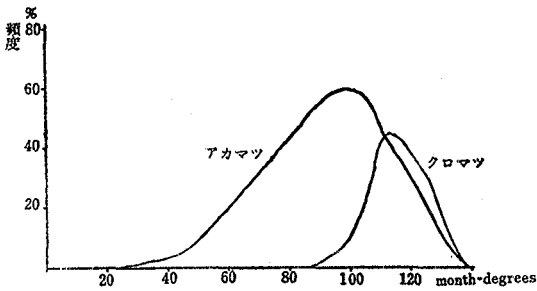
アカマツおよびクロマツの天然分布のしかたについてみると、上述の通りクロマツは海岸より海拔200~300mないし400~500mまでの範囲で、またアカマツは、海拔100mから海拔500m~1400mの地域でもっともよく生育することが解るが、もちろん、天然分布はいつれの種においても、この範囲の両側で許される。

今西<sup>(2)</sup>は重要樹種17種について、その垂直分布を調べた結果から、各樹種の高度分布の範囲はかなりまちまちで、明確な境界をもつ森林帯は認められず、高度の変化による樹種構成の変化は連続的であり、森林帯の区別は単なるPattern(型)のうつりかわりにすぎないという。つまり個々の種は、一つの環境要因の変化に対して、それぞれ異なる反応を示し、したがってそれぞれの種の分布域は相互に独立的なものではあるが、現実の植物共同体はそれらが同じ地域に重複することによって生じたものである。

ところで、アカマツおよびクロマツの分布規制をその生活環境の総合に対する反応としての観点からみつめる

ことは、畢竟アカマツおよびクロマツの生態の本質に触れることであり、このような生態系の正しい認識把握は、少くとも、アカマツおよびクロマツ林の正しい取り扱い方を知るうえで極めて重要であろう。

吉良<sup>(8)</sup>は、林<sup>(1)</sup>の調査報告にもとづいて、各産地における高度分布の上、下限に対する暖かさの指数（温量指数 - Warmth index）を推定し、温度傾度上の分布曲線を作ったところ、アカマツおよびクロマツについては第



第1図 中部地方におけるマツ属の温度分布曲線  
(吉良<sup>(8)</sup>より改作)

1図に示す結果をえた。この結果は植物の分布を支配する二大要因が、温度と水分であるという点からして、アカマツおよびクロマツの天然分布を考える上にきわめて興味ある資料というべく、図に示される分布曲線から、その mode は、クロマツよりアカマツが、温量指数的にみて、いく分ひくいところがあり、クロマツにくらべ、低温の地域により多く分布することが推定される。しかしながら、それぞれの分布曲線は、それほど分離してはいず、共存のかたちをとる場合の多いことを同時に示唆する。

ところで、河田<sup>(4)</sup>はアカマツおよびクロマツの天然分布について、能登半島の一部、新潟県、山形

県、宮城県、岩手県、青森県の一部などでは、直接潮風にあたる地帯でアカマツ林が成立するのに対し、本州中部以西の直接潮風にあたる海岸地帯では、アカマツが生育しにくく、ここでは、むしろ、クロマツを主とするアカマツの混交林の多いことを指摘し、さらに、我が国では、一般に南方で内陸に成立する森林が、北方にゆくにつれて、海岸の方にてくる傾向をもち、アカマツ林についてみても、その傾向が見られるとし、これは環境に対する両種の適応性のちがいによるものと推定している。

また、中村<sup>(6)</sup>は、暖帯の海岸について、ここには常緑広葉樹ではなく、しばしばクロマツがよく生育しているのがみられるという。

一方、両種の郷土についてみるに、アカマツは、カシ帯の北部からブナ帯にわたる地帯をその郷土とするのに対して、クロマツはカシ帯を郷土とする。したがって、クロマツはアカマツより、やや暖地に生育するものとみなされる。

以上の諸点から考察して、海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツの天然分布のかたちを左右する条件として、たゞ因子は、その地域、地域によって一様でなく、種々異なるものとみるべきであろう。このような見地からして、暖帯南部の海岸地帯におけるクロマツのアカマツに対する優位、また、温帯の一部にみられる海岸地帯のアカマツの進出は、主として温度、水さらには、土壌の条件によって大きく支配される結果にもとづくものと考えられ、これらの諸条件に海塩や潮風などが、天然分布の上で重要な規制条件として参加するのは、おそらく、これらの中間地帯であると考えられるのであって、温度的にみて、およそ年平均気温 13°C 前後の地域から 15°C 前後の地域、あるいは温量指数からみて、およそ 100°C ないし 105°C 前後から 120°C ないし 125°C の地帯においてであろうと推測される。つまり、裏日本では、およそ新潟附近以南、表日本ではほぼ水戸附近以南、九州では概略、福岡、大分以北、それに四国の大部分を含む範囲の沿海地帯である。

すなわち、本論文においても、問題の対象地域を、ほぼこの範囲に区切り、考察を進めることとした。

#### 4 アイグロマツの問題

原田<sup>(6)</sup>によれば、アカマツの花粉は風のため 200km の距離ないしはほとんど無限遠まで運ばれるというから、その自然交雑種をつくりだす機会はきわめて多いであろうことが容易に想像される。いま、遺伝学の立場からみた場合、このアカマツとクロマツの種間雑種についても、雑種強勢 (heterosis)<sup>(7)</sup> の現象がみられるであろうことが推測される。とすれば、耐塩性についても、この雑種は純粋種のそれよりも、より強いものもでき得ると考えてよいはずである。

ところで、アカマツとクロマツおよびその種間雑種を立木の外観のみによって完全に識別、判定することはなかなかむづかしいようである<sup>(8,9)</sup>。

筆者は、アカマツおよびクロマツの耐塩性を論ずるにあたり、もちいる実験材料の純粋性を吟味する意味で、



実験にさきだち、まず両種の識別の問題について、一応の検討をおこなうこととした。

すなわち、アカマツ、クロマツの両種と、その種間雑種とのあいだの外見からする識別について、識別の精度にいささか問題点を含むものと考え、この点について検討を加えた。

#### a. 調査方法および結果

上述の目的をもって、今回は、次の4地域のマツについて調査をおこなった。すなわち、

- ① 香川県、高松市屋島の西側海岸一帯
- ② 鳥取県、鳥取市鳥取砂丘の一帯（ただし、海岸砂防植栽地を除く）
- ③ 鳥取県、米子市西部の海岸ぞいの一帯
- ④ 兵庫県、舞子浜一帯（ただし、国道線より海側）

調査の方法としては、調査地に成立する林木のなかから、調査対象木を無作為に抽出し、岩村<sup>(10)</sup>の方法を簡略化して、まず、その外観形態を、樹皮、冬芽あるいは新梢、および、針葉の3項目について採点し、それぞれの項目について、アカマツの特徴をもつものを(+1)、クロマツの特徴をもつものを(-1)とし、合計点が(+3)のものをアカマツ、(-3)のものをクロマツとし、(+2)～(-2)の範囲のものはすべて交雑種として一括した。

種間雑種の分類体系については、理論的には、岩村<sup>(9, 10)</sup>の提唱する——クロマツ、アイグロマツ、アイマツ、アイアカマツ、アカマツ——の分類体系を支持するが、筆者は今回の調査目的からして、便宜的に種間雑種は、これをすべて一括してとりあつかうこととした。

つぎに、調査対象木の前年生の針葉を内部形態を観察するための試料として、樹冠の周囲5ヶ所から採った。

針葉の内部形態——主として樹脂道配列のかたち——による識別については、まだ論議は残されているが、筆者は一応、辻<sup>(8)</sup>、岩村<sup>(9)</sup>らの論議を基本とし、岩田<sup>(11)</sup>の分類法を参考にして、仮りにI型をクロマツ、IIおよびIII型の樹脂道配列をなすものをアカマツとし、I型とII型、あるいはI型とIII型をあわせ持つ混合型のものを、交雑種とみなし、交雑種をすべてアイグロマツと仮称して処理することとした。なお針葉の樹脂道配列の観察は針葉の中央断面についておこなった。

このようにして、対象木からそれぞれ5コの試料をとり、その内部形態を表記し、その結果による判定と外部形態の観察結果とを対照し、双方の結果がよく符合しているか否かを検討することとした。

なお、参考までに試料それぞれの樹脂道数も読んだ。その結果、第1～4表<sup>(12)</sup>をえた。

#### b. 考 察

(1) 屋島地区の結果(第1表参照)においては、外観と内部形態による識別とが、必ずしも一致しているとはいえない。

勿論、そのくい違いは、筆者の識別技術の未熟に起因するものかも知れず、また、外部形態の観察に精密さが欠けていたのかも知れないが、とにかく両者の識別の結果に多少のくい違いがおきた。

アカマツおよびクロマツの分布を内部形態によって検討してみると、鳥取砂丘地帯および米子市西部の海岸地帯、そして、舞子の浜では、クロマツの本数がアカマツのそれにくらべて圧倒的に多い。これに対して、屋島地区では、クロマツを主体とし、アカマツが混在し、そして、この間にアイグロマツが相当数介在することがわかる。

(2) すでに、(1)で触れたように、外観と内部形態による識別とのあいだには、多少のくい違いの生ずることが認められるが、しかし、そのくい違いは、クロマツとアカマツとの混同ではなく、多くの場合、外観的にはクロマツとし、あるいは、アカマツとしたもののなかに、アイグロマツが入っているかたちである。このような関係は、岩村のおこなった、より精密な調査においても、同様の結果<sup>(9)</sup>がでている。いづれにしても、アカマツあるいはクロマツと、それらの交雑種とは、そのおたがいのあいだを、外部形態だけでは識別しにくい場合があり得ることは明らかである。

さらに、このように成木についてさえ、その識別に混乱が起りうるものとするれば、まして、種子の上での識別はより困難であろう。それゆえ、我々の用いる実験材料としてのマツ種子については、この点からする吟味も充分になされる必要がある。

もっとも、アイグロマツについての分類上の問題としては、林<sup>(13)</sup>がいうように、海岸地帯において馴化された海岸型のアカマツを、とくにアイグロマツと名付ける考え方もあるが、アイグロマツをここでは、岩村<sup>(8, 10)</sup>らのいう交雑種として取り扱った。

第1表 マツ針葉の樹脂道配列型と樹脂道数〔屋 島〕

試料No. 個体No.	1	2	3	4	5	判 定 (樹脂道数 の平均)	外 観
1	I (8)	I (8)	I (8)	I (6)	I (8)	B (7.6)	B
2	I (6)	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	B (5.2)	B
3	I (7)	I (8)	I (8)	I (6)	I (8)	B (7.4)	B
4	I (7)	I (7)	I (6)	I (6)	III (I-6. II-1)	h (6.6)	B
5	I (7)	I (6)	I (6)	I (5)	I (6)	B (6)	B
6	I (9)	I (8)	I (8)	III (I-7. II-1)	I (7)	h (8)	B
7	I (6)	I (6)	III (I-7. II-1)	I (6)	I (5)	h (6.2)	B
8	I (7)	I (6)	I (6)	I (7)	I (7)	B (6.6)	B
9	I (9)	I (8)	I (9)	I (9)	I (9)	B (8.8)	B
10	I (5)	I (6)	I (6)	I (6)	I (6)	B (5.8)	B
11	I (9)	I (9)	I (9)	I (9)	I (8)	B (8.8)	B
12	I (6)	I (6)	I (6)	I (6)	I (6)	B (6)	B
13	I (8)	I (8)	I (8)	I (8)	I (10)	B (8.4)	B
14	I (2)	I (2)	III (I-2. II-3)	I (2)	I (6)	h (3.4)	R
15	I (4)	I (5)	I (5)	I (4)	I (5)	B (4.6)	B
16	I (12)	III (I-10. II-2)	III (I-3. II-9)	I (12)	I (11)	h (11.8)	R
17	II (6)	II (6)	II (6)	II (6)	I (6)	h (6)	R
18	III (I-10. II-1)	III (I-1. II-10)	II (10)	III (I-1. II-10)	III (I-1. II-10)	h (10.8)	R
19	I (9)	I (9)	I (9)	I (9)	I (9)	B (9)	B
20	I (7)	III (I-6. II-1)	I (8)	I (7)	I (7)	h (7.2)	B
21	I (9)	III (I-8. II-1)	I (9)	I (9)	I (9)	h (9)	B
22	III (I-6. II-1)	III (I-7. II-1)	I (7)	I (6)	I (7)	h (7)	B
23	I (8)	I (4)	I (4)	I (4)	I (8)	B (5.6)	B

註 B: クロマツ, R: アカマツ, h: アイグロマツを示す。( )内の数字は樹脂道数を示す。

判定の欄は、樹脂道配列型による、また、外観の欄は外部形態による識別結果を示す。(第2~4表も同じ)

第2表 マツ針葉の樹脂道配列型と樹脂道数 (鳥 取)

試料No. 個体No.	1	2	3	4	5	判定 (樹脂道数) の平均	外 観
1	I (7)	I (8)	I (8)	I (7)	I (8)	B (7.6)	B
2	I (3)	I (4)	I (4)	I (3)	I (4)	B (3.6)	B
3	I (7)	I (6)	I (7)	I (7)	I (6)	B (6.6)	B
4	I (6)	I (6)	I (6)	I (6)	I (6)	B (6)	B
5	I (6)	I (5)	I (6)	I (6)	I (6)	B (5.8)	B
6	I (7)	I (5)	I (5)	I (5)	I (6)	B (5.6)	B
7	I (9)	I (9)	I (10)	I (10)	I (10)	B (9.6)	B
8	I (6)	I (6)	I (6)	I (7)	I (6)	B (6.2)	B
9	I (7)	I (8)	I (7)	I (7)	I (7)	B (7.2)	B
10	I (4)	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	B (4.8)	B
11	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
12	I (3)	I (4)	I (3)	I (3)	I (3)	B (3.2)	B
13	I (3)	I (5)	I (6)	I (3)	I (3)	B (4)	B
14	I (6)	I (5)	I (6)	I (7)	I (7)	B (6.2)	B
15	I (3)	I (4)	I (4)	I (3)	I (3)	B (3.4)	B
16	I (9)	I (10)	I (10)	I (10)	I (10)	B (9.8)	B
17	I (4)	I (4)	I (4)	I (4)	I (4)	B (4)	B
18	I (8)	I (8)	I (6)	I (6)	I (8)	B (7.2)	B
19	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	B (3)	B

第3表 マツ針葉の樹脂道配列型と樹脂道数〔米子〕

試料No. 個体No.	1	2	3	4	5	判定 (樹脂道数 の平均)	外観
1	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
2	I (5)	I (4)	I (5)	I (5)	I (5)	B (4.8)	B
3	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
4	I (2)	I (2)	I (2)	I (1)	I (2)	B (1.8)	B
5	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
6	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	B (3)	B
7	I (1)	I (1)	I (1)	I (2)	I (1)	B (1.2)	B
8	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
9	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
10	I (4)	I (5)	I (4)	I (4)	I (4)	B (4.2)	B
11	I (4)	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	B (4.8)	B
12	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
13	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
14	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	B (3)	B
15	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
16	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
17	I (6)	I (6)	I (6)	I (5)	I (6)	B (5.8)	B
18	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	I (4)	B (4.8)	B
19	I (7)	I (7)	I (7)	I (7)	I (7)	B (7)	B
20	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B

第4表 マツ針葉の樹脂道配列型と樹脂道数〔舞子浜〕

試料No. 個体No.	1	2	3	4	5	判定 (樹脂道数) の平均	外観
1	I (4)	I (4)	I (4)	I (5)	I (4)	B (4.2)	B
2	I (4)	I (4)	I (4)	I (3)	I (4)	B (3.8)	B
3	I (5)	I (5)	I (5)	I (6)	I (4)	B (5)	B
4	I (4)	I (4)	I (4)	I (4)	I (4)	B (4)	B
5	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	B (5)	B
6	I (6)	I (6)	I (5)	I (6)	I (6)	B (5.8)	B
7	I (2)	I (2)	I (3)	I (5)	I (2)	B (2.8)	B
8	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	I (5)	B (5)	B
9	I (3)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2.2)	B
10	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
11	I (2)	I (2)	I (3)	III (I-2. III-1)	I (2)	h (2.4)	B
12	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	I (2)	B (2)	B
13	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	I (3)	B (3)	B
14	I (5)	I (5)	I (6)	I (5)	I (5)	B (5.2)	B
15	I (4)	I (5)	III (I-5. III-1)	I (5)	III (I-5. III-1)	h (5.2)	B

第2節 アカマツおよびクロマツの発芽と耐塩性との関係

植物の自然分布を決定する第一の基盤は、一定の地点に対して自然落下した種子が、まづ発芽し、それが幼植物として成長することにある。

筆者はこのような見地から、アカマツおよびクロマツの海岸地帯における自然分布を検討するに当って、その基盤をなすところの発芽とその後の生育について、まづ検定することとした。

ところで、植物の生育について考えるとき、この海岸地帯は、河田<sup>(14)</sup>が、海岸地帯に成立する植生を、とくに、海岸林植生なる、一つの植生単位群級として、あつかっているほどに、他の地域とは種々の点で、その生育条件を異にする。さらに、海岸地帯における、とくに最も特異的な条件は、他の地域に比較して、その土壤塩分量が、一般にいちじるしく多いことと、潮風が卓越することであろう。

すなわち、海岸地帯において、ある植物がそこに分布をゆるされる、ひとつの基盤は、このような高濃度含塩状態にある土壤条件下において、発芽とそれにつよく生長が可能であるということである。

海岸地帯に対する天然分布の可能性を確認するには、それゆえに、まづ両樹種が、海岸地帯においてみられるような含塩度の高い状態の発芽床で、発芽とその後の生育がゆるされるか否かを——つまり、総合的な耐塩性を——確認する必要がある。

米田<sup>(16)</sup>は、作物の耐塩性について論ずる場合、その耐塩性は、生育の3つの相、すなわち、発芽、幼植物期、および栄養成長期とそれにつづく成熟結実期の3期にわけて考えるべきであるとし、とくに、発芽と幼植物期とが塩害の臨界点であるという。つまり、植物の耐塩性についてみると、発芽ないし幼植物期は、もっとも塩害を被りやすい生育の段階であるといえるのであって、アカマツおよびクロマツに関しても、成木はたとえ耐塩性の高いものであるにしろ、発芽と幼植物期においては必ずしも成木と同じ程度の耐塩性をもつとはいえず、この点が、少なくとも海岸地帯において、アカマツないしクロマツが、そこに成立しうるか否かの第一次の、そして最も重大な関門となりうるものと考えらる。

このような観点にたつて本問題を解析すべく、筆者は、まづ塩分を種々の濃度に含む発芽床を設け、これにアカマツおよびクロマツの種子を置床し、その発芽経過を検討することとした。

### 1 海塩の存在と発芽との関係

#### a. 実験方法および結果

実験方法としては、径10cmの腰高シヤーレに濾紙を敷き、これに海水（高松港のものを採集した）と蒸留水とを第5表の割合に混合したものを、濾紙が十分に湿潤する程度に注水し、これにアカマツおよびクロマツの種子をそれぞれ100粒宛置床した。

第5表 試験区別 純水、海水混合比およびNaCl濃度

(濃度区分) 混合比 試験区	(純水)							(海水)
	0	10	20	40	60	80	90	100
純水：海水(量)	100:0	90:10	80:20	60:40	40:60	20:80	10:90	0:100
NaCl 濃度(%)	0.0	0.3	0.5	1.1	1.6	2.2	2.5	2.7

なお、発芽床に用いた濾紙は、一日おきに新しいものと交換した。この試験期間中、温度は25°Cを保つように調節し、発芽種子数は毎日定時に読んだ。ここで、発芽とは、一応外種皮が裂けて、わず

かに幼根の先端が見え出しているものをいい、これを発芽種子とみなして処理した。

このようにして、置床後の発芽経過を観察した。いま、この観察結果の1例<sup>(16)</sup>を示すと、第6表および第2、3図の通りである。

すなわち、両種とも海水の混合比が増すにつれて、その発芽率は明らかに低下する。しかもアカマツにおいて、その傾向は顕著である結果をえた。

これらは、伊藤ら<sup>(17)</sup>が、アカマツおよびクロマツを用いて、種々の濃度の海水でその発芽率を検定した結果と照合しても、およそ同一の傾向をもつものであるが、ただ、伊藤らのおこなった実験では、クロマツはむしろ少量のNaClの存在で良好な発芽率をしめしたといっているが、筆者の実験では、それを認めることができなかった。これは、筆者の設けた試験区では、海塩の最低濃度を、伊藤らの発芽促進をみとめた濃度よりも高いところにおいたことによるものではないかと考える。

#### b. 考 察

種子は、吸水によって、発芽を開始するが、どの程度に吸水したときに発芽を開始するかは、植物の種類によって異なるし、また、同じ種類でも個々の種子によって多少異なる。

一般に、発芽初期における吸水は、種子を構成するコロイド質によるところの膨潤現象とみなされ、したがって、それは一種の物理的現象と考えるべきものである。(もちろん、実際種子が置床された場合には、外液との単なる拡散現象だけでなく、毛細管現象による吸水も、ともにたらくものと考えられるが……)したがって、少なくとも発芽初期における吸水には、外的条件についてみれば、この膨潤現象に影響をもつ諸条件、とくに、温度ならびに、外液の浸透圧が重大な意義をもつし、殊に、実際の発芽の場について考える場合、外液の浸透圧は、種子の発芽に関して、きわめて重要な役割を演ずるもので、外液の浸透圧が高いほど、種子の吸水速度は低下するし、同時に吸水量そのものも減少する。つまり、発芽床は種子の発芽に際して、まづその機械的吸水の源となる。そのため、発芽床のもつ水の多少が、直接種子の発芽に影響を与えるものであり、それゆえに、そこに存在する水は、単に、発芽に対して十分な量の水というだけでなく、種子にとって吸水し得るかたちの水でな

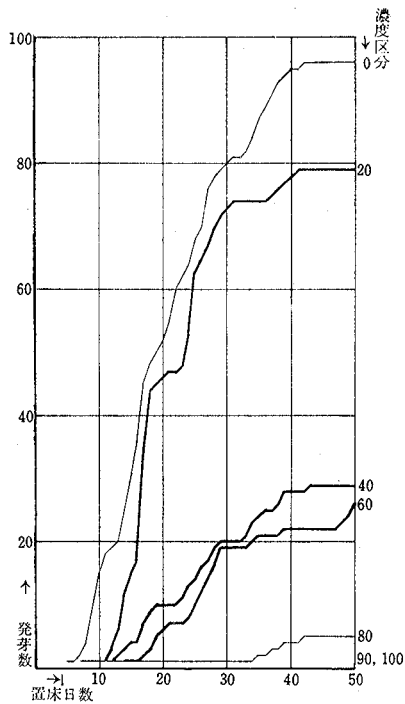
第6表 アカツおよびクロイツ種子の海水濃度区分別発芽経過(100粒中) (25±0.5°C)

置床日数 濃度区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	計		
0					1			1	2	5	6	3	1	1	5	5	6	9	3	2	2	3	5	2	2	4	2	6	2	1	1	1		1	2	3	2	2	1	1	1		1									96	
20												1	2	3	6	8	2	12	10	1	1	1		1	5	10	2	2	3	2	1	1																					79
40													1	1	1	1		3	2	1					1	2	1	2	1	2	1		1	2	1	1	1	1	1												29		
60																1		1	2	1					1	2	2	2	2	3																						26	
80											1										1	2	1			1	2	2	2	2	3					1	1	1	1	1	1										5		
90																																																				0	
100																																																				0	

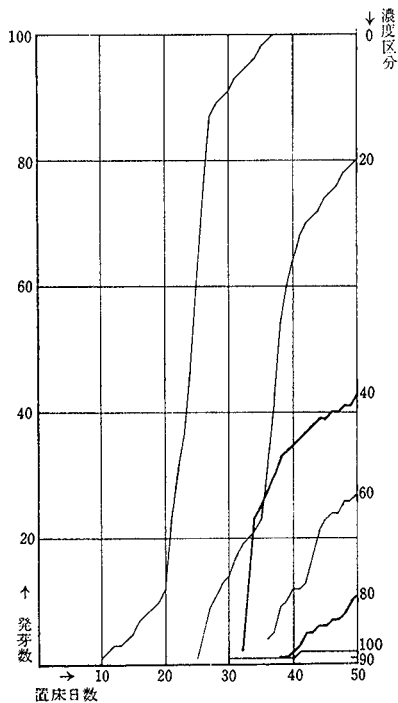
B クロイツ

置床日数 濃度区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	計			
0										1	1	1		1	2	1	1	1	2	11	8	6	10	14	18	8	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1													100	
20																										1	4	4	2	2	1	3	2	1	1	2	9	10	12	6	4	4	4	2	1	1	2	1	1			80		
40																																																						43
60																																																						27
80																																																						11
90																																																						1
100																																																						2

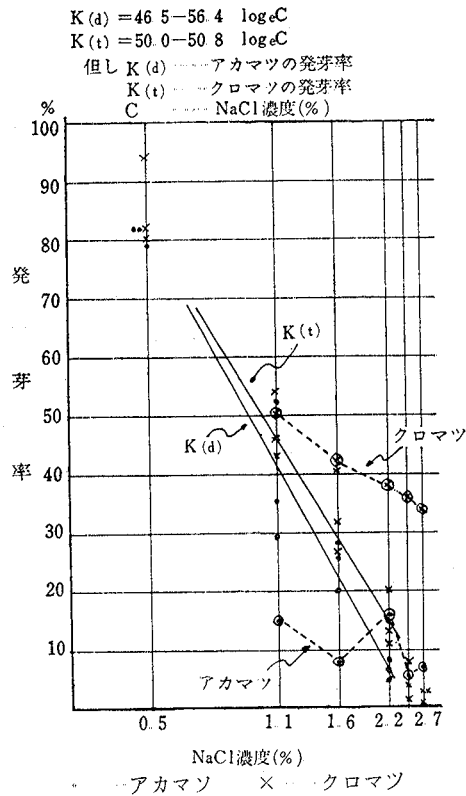
ければならないはずである。  
 外液の塩分濃度が高くなるにつれて、その浸透圧が高まり、その結果、発芽遅延がみられるという考え方について



第2図 アカマツ種子の海水濃度別発芽経過 (100粒・25±0.5°C)



第3図 クロマツ種子の海水濃度別発芽経過 (100粒・25±0.5°C)



第4図 アカマツおよびクロマツ種子の発芽と海水濃度との関係

- 註
1. アカマツ・クロマツとも4例のうち、原因は不明であるが他の3例と著しく異なる値をとった1例(点線でむすんだ値をとったもの)をのぞき、他の3例について検討した。
  2. この実験式はNaCl濃度0.5~2.7%の範囲で適用する。
  3. 置床日数は50日とした。  
(この結果については今後の実験でより完全なものにする計画である)

ては、多くの研究があり、ほとんど疑問の余地のないところであろう。すでに、約40年前、Shullはオナモミ (*Xanthium pensylvanicum*) の種子を種々の濃度のNaClおよびLiClに置いて、一定時間内における吸水量を測定した結果から、外液の浸透作用が、種子の膨潤作用によぼす影響について検討を加えた結果、オナモミの種子はNaClおよびLiCl溶液に対して、その種皮は半透性を示し、水分の通過は許すが、外液に溶存するNaClおよびLiClは通過をゆるさない。したがって、溶液の浸透圧が高まる

につれて、その吸水量(単位物量当りの)の減少がみられるとした<sup>(18)</sup>。ところで、Shullの実験から、すでに指摘されたように、種皮のいわゆる選択透過性については、その後多くの研究報告がみられる。

Collins<sup>(19)</sup>は、大麦を材料として、種子の半透過性を研究した結果、大麦種子は、胚の附近に水の浸入する特別の場所があって、種子の吸水量の大部分は、ここから浸入し、他の表面より入る水は極めてわずかである。またこの場所には無機酸および多くの類塩をさえぎり、かつ、水を自由に通過させる半透性構造があって、水の供給を受けた場合、胚が最初にその水を受入れるのに適わしいような種子の表面構造になっていることを明らかにした。



さらに、Shull<sup>(20)</sup>によれば、オナモミの種子は、その種皮に選択透過性がある、食塩、硫酸銅、グリセロール、砂糖、塩酸、酒石酸、クロシウム酸カリ、チオ硫酸ソーダなどの浸入を遮断し、硝酸アンモニヤ、硝酸銀、硝酸ナトリウム、硝酸カリ、塩化カリ、塩化水銀、硫化鉄、アルコール、エーテル、沃度、苛性カリ、苛性ソーダ、硫酸、醋酸、乳酸、拘椽酸などの浸入を許すが、この特性は種皮の中層および内層にあるらしいことを指摘している。

また、Magistad<sup>(21)</sup>は、含塩土における植物の生長阻害は、一義的には、浸透圧関係にもとづくものであるが、ただし、NaCl, NaHCO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>などの塩類のあいだにはいちじるしい相違がみられるとし、岩城<sup>(22)</sup>も高浸透溶液中での種粒の発芽遅延や、水稻の生長阻害をみとめている。

いま、筆者のえた、前記の実験結果（第6表）について考察するに、発芽の開始時期および最高発芽のあらわれる時期は、注水中の塩分濃度が高まるにつれて遅れ、発芽率もまた、同様に濃度の高まるにしたがって低下した。これは、発芽生理の立場から、一般的に指摘されるように、一つには注水中の塩分濃度が高まるにつれて、次第に生理的乾燥の状態が与えられる結果、吸水機能の制御をうけ、発芽に必要な量の吸水が不可能となることにもとづくものと考えられ、必ずしも塩分が種子の発芽に対して、直接その生理作用に有害に似た結果にもとづく現象であるとはいえないかもしれない。

OppauskyおよびLehmann<sup>(23)</sup>が、デントコーンなどを材料として、発芽床の種々の含水状態と、それらの種子の一定時間内における吸水量を調べた結果、発芽床の含水量が低下するほど、デントコーンなどの吸水量は減少することを明らかにした。

もし、ある種子が、発芽するためには、一定量の吸水が行われることが必要であるとするならば、このデントコーンの発芽速度は、発芽床の飽差が大きくなるほど低下するはずである。つまり、発芽床の水分の減少（乾燥は、この点から推して、種子の発芽を遅延せしめる重要な1つの因子となることは明らかである。

筆者は、このような論議を吟味する目的で、アカマツ種子を材料として、つぎの実験をおこなった。すなわち、前記の実験において標準区としたところの、蒸溜水のみを注水する区を再び設け、まづ、標準区は前記実験でおこなったと全く同様の取り扱いとし、他の一区は、蒸溜水を注水する操作は標準区と同じにしながら、全実験期間中ジャーレの蓋を、9時から17時までの8時間、毎日開放した。さらに、他の一つの区は、全実験期間中、全日ジャーレの蓋を開放しておいた。もちろん、これらの処理以外は、すべて前の発芽実験の場合と全く同一の条件を与えることに努めた。この実験の結果を第7表にまとめた。

第7表 アカマツ種子の発芽経過 (25±0.5°C)

置床日数 区 分	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	合計	発芽率 (%)	
	A	5	15	35	17	28	12	9	3	1	2	4	2	3	3	2	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	148
B	2	7	19	27	25	21	7	13	2	4	7	5	4	2	1	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153	76.5
C	1	1	3	8	6	14	38	21	8	20	16	11	7	5	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166	83.0	

註：○ A …… 全期間中、フタをした区（標準区）  
 ○ B …… 全期間中、1日8時間宛フタを除いた区  
 ○ C …… 全期間中、フタを除いた区  
 ○ 播種数 …… 各区200粒宛

すなわち、第7表の結果をみると、単にジャーレ内の湿度を、蓋の開閉によって調節しただけで——もっとも、この場合、厳密には他の種々の条件も変ることは当然考えねばならないが——発芽総数は、ほぼひとしい値をとりながらも、その最高発芽数のあらわれる時期が、蓋を開放する時間の少いものから（もっとも、標準区でも、濾紙を取りかえるときと、発芽数を調べるときとは、蓋を取った）多い順に、わづかながら、おくれをみせている。つまり、この結果からしても、発芽床の乾燥が、種子の発芽をおくらせる事実をうかがい知ることができると考える。

ところで、HassanおよびOverstreet<sup>(24)</sup>は、生育障害の主因は、塩の特性にあるのであって、浸透圧にあるのではないという。

また、下瀬<sup>(26, 26)</sup>は、塩化物による水稻代謝の乱れを研究した結果、NaCl区は標準区にくらべ、全窒素、蛋白質窒素とも多く、とくに、可溶性窒素がいちじるしく多くなる。また、無機成分では、硫黄は多くなるが、マグネシウムおよびカリウム、カルシウム含量は少くなるという。

また、多くの作物は、置換性陽イオンの10~17%がナトリウムで占められている培地にあるとき、生育障害をおこすといわれているが、その原因究明はまだ完成されていない。

しかしながら、およそNaイオンの害作用については、置換性ナトリウムが植物に吸収された場合、何らかのかたちで植物の代謝機能を阻害すること、また、置換性ナトリウムの高濃度の存在は、必須元素、すなわちカリウム、カルシウムなどの吸収を減少させること、などにもとづくものと考えられ、さらに、置換性マグネシウムの多量に存在するためにおこる生育障害も、ナトリウムの場合と同様に、カルシウム栄養の破壊にもとづくものようである<sup>(27)</sup>が、いずれにしても、現在までのところ植物の耐塩性については、いろいろの見解があって、統一した結論は得られていず、今後の研究にまたなければならぬ。しかしながら、塩分が植物の発芽、ならびに、その後の生長作用に対して、その特性上、生理的機能に対し、特異的な障害をひきおこさしめることと、高浸透圧にもとづく水分利用度の低下が生育障害の重要な一因となることについては、ほとんど異論がないようで、ただ何れが障害の主因となるかについて、種々見解を異にしているというのが現状である。

いま、筆者の第6表にまとめた実験結果と、第7表の実験結果とを対照すると、第6表にみられる発芽遅延、(とくに最高発芽数のあらわれる時期のおくれ)は、第7表のそれよりも、顕著にあらわれているように見うけられ、第6表においてみられる発芽遅延については、一般にいわれているように、生理的乾燥——外液の浸透圧の問題——によって、ひきおこされた発芽遅延と同時に、外液のもつ塩分が、種子の発芽に対して、純粹に生理機能の面からする妨害作用をもたらす、これが生理的乾燥——物理的作用——とからんで、総合的にはたつき、第7表のそれにくらべ、発芽遅延をいちじるしくしているものと思われる。

## 2 海水の塩類組成成分と発芽との関係

ところで、天然下種された種子の発芽の場を想定するとき、そこに与えられる海塩——発芽遅延から発芽阻害までを含めて、その主要条件を与えるもの——によって、実際に発芽が妨げられるものとするれば、それは一体、海水の塩類組成成分のうちで、何がその主導的役割を果すものなのかという点を考えねばならないであろう。すなわち、海水の塩類組成成分中、どの成分がこれらの種子の発芽に妨害的にはたらく主役となるものなのかという点について検討すべきである。

第8表 海水の塩類組成 (海水1L中)

NaCl	27.213g		
MgCl <sub>2</sub>	3.807	+6H <sub>2</sub> O	8.128g
MgSO <sub>4</sub>	1.658	+7H <sub>2</sub> O	3.395
CaSO <sub>4</sub>	1.260	+2H <sub>2</sub> O	1.598
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.863		
CaCO <sub>3</sub>	0.123		
MgBr <sub>2</sub>	0.076	+6H <sub>2</sub> O	0.121

### a. 実験の方法と結果

試験区の設定については、それぞれの物質が、海水中に含まれるとひとしい濃度をもつ溶液を注加するA区(すなわち、第6表における100区に相当するもの)と、A区の使用液20部に対し、蒸溜水80部の割合で稀釈した溶液を注水するB区(すなわち、第6表における20区に相当するもの)および、対照区として、蒸溜水のみを注加する区を設けて、実験をおこない、第9表の結果をえた。

### b. 考 察

第9表の結果によれば、NaCl注加区をのぞく、その他の区、すなわち、MgCl<sub>2</sub>、MgSO<sub>4</sub>、CaSO<sub>4</sub>、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、CaCO<sub>3</sub>、MgBr<sub>2</sub>などの溶液を注加した区では、海水そのものの溶存量にひとしい濃度(すなわちA区)の場合でさえ、概して、いちじるしい発芽阻害は見うけられず、むしろ、CaSO<sub>4</sub>、MgBr<sub>2</sub>溶液を用いた区などにおいては、かえって、発芽が早められるらしい傾向さえ観察された。

いま、C. Dittmar<sup>(28)</sup>によれば、海水の塩類組成は第8表に示す如くである。

そこで、筆者は、これらの諸物質の注水中における存在が、アカマツおよびクロマツの発芽に対して、どのようにはたらくかについて検定する目的をもって、これらの諸物質について、それぞれ海水中の溶存量に等しい濃度の溶液を作り、これを発芽床に注水し、アカマツ種子を材料として、その発芽経過を観察することとした。

このような傾向は、肥後ら<sup>(29)</sup>が、クロマツ稚苗を用いて、海水がその成長にどのような影響をもたらすかを検討する目的で、水耕実験をおこない、海水濃度が20%以上の場合には稚苗は生育しなかったが、しかし、水道水に海水2~10%を加えたものは、水道水だけで水耕した区よりも、むしろよい生長を示したという結果や、あるいはまた

伊藤ら<sup>(17)</sup>が、クロマツ種子の発芽試験で、低濃度海水区(20%海水区)で、クロマツ種子が、むしろ対照区より、よい発芽率を示したという結果、などと考え合せるとき、これらの結果と筆者のおこなったこの実験、とくに、低濃度の場合、CaSO<sub>4</sub>、MgBr<sub>2</sub>などの溶液を注水した区において、生長を促進するような傾向がみとめられたこととのあいだに、ある種の関連性の存在することを推測せしめる。

いづれにしても、海塩が実際に発芽阻害的にはたらく場合、その主導的役割を果している成分は、主としてNaClであることは第9表の示す結果からしても、ほぼ明らかである。

ところで、すでに述べたように、多くの実験で、明らかにされていることは、Naイオンが、他の必須元素の吸収を妨害するという事実であるが、Clイオンについては、近年、むしろ、植物の必須元素として認められつつあり、Broyerら<sup>(30)</sup>によって、塩素欠乏症さえ提示されているほどであり、植物の生育に対して全面的に阻害作用をもつとは考えられない、がしかし、過度のCl<sup>-</sup>の存在は、もちろん植物の生理機能に対して、阻害的にはたらくこともまた、明確なところである。

とくに、種子の発芽に対しては、Clイオンの害作用がもっとも強いとさえいわれているし、陽イオンでは、Naイオンが、K、Mg、Caイオンなどにくらべて有害であるといわれている<sup>(31)</sup>。

筆者は、このような海塩のもつ発芽阻害の作用について、さらに検討するべく、つぎの実験を試みた。

すなわち、海水中のMgCl<sub>2</sub>の溶存量は、Dittmarによれば、3.807g/L(海水)である。そこで、いま、MgCl<sub>2</sub> 3.8g/Lの溶液(B区)と、この溶液のMgのモル濃度とほぼひとしい濃度のNaをもつNaCl溶液、すなわち近似的に2.3g/Lの溶液(C区)とを用いて、両種の発芽を検定した。その結果第10表を得た。

この結果からみた場合、MgおよびNaのモル濃度の、ほとんどひとしい、BおよびC区についてみるに、その発芽数はMgCl<sub>2</sub>溶液を用いたB区よりNaCl溶液を用いたC区で、やや少い傾向がみられ、それは、とくに、アカマツにおいて、明らかなようである。しかし、この両区の溶液中のClのモル濃度をみると、MgCl<sub>2</sub>溶液(B区)の方が、NaCl溶液(C区)よりも、より高く、その濃度の比は、ほぼ2:1である。すなわち、以上の結果からみて、マツ種子の発芽においては、MgCl<sub>2</sub>よりも、NaClが、その発芽に対してより強い阻害作用をもつようであり、とくに、アカマツにおいて、その傾向が強い。

そこで、このC区のおよそ1/2のモル濃度をもつ、D区(近似的にNaCl 1.2g/Lとした)を設け、その発芽を検

第9表 アカマツ種子の塩類別発芽数(100粒中)

区分	組成分	蒸溜水 (対照区)	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgBr <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>
		発芽数 (粒)	対照 区指 数	対照 区指 数	対照 区指 数	対照 区指 数	対照 区指 数	対照 区指 数	対照 区指 数
A	発芽数 (粒)	91	2	71	75	79	71	71	78
	対照 区指 数	100	2	78	82	87	78	78	86
B	発芽数 (粒)	90	32	80	76	79	79	76	75
	対照 区指 数	100	36	88	84	88	88	84	83

註：。A………海水中の溶存量(Dittmarによる)に等しい濃度の溶液をもちいた。

。B………Aの使用液20部：蒸溜水80部の混合液をもちいた。

第10表 発芽床中のMgCl<sub>2</sub>およびNaCl量と発芽数との関係

樹種	区分 項目	A (対照区)	B	C	D
		アカマツ	発芽数	40	31
	対照 区指 数	100	78	63	73
クロマツ	発芽数	50	48	44	49
	対照 区指 数	100	96	88	98

註：。播種数………1区50粒

。区分………A=蒸溜水

B=MgCl<sub>2</sub> 3.8g/L

C=NaCl 2.3g/L

D= " 1.2g/L

討した結果、第10表におけるごとく、B区とはぼひとしい発芽成績をえた。

以上の結果を総合すると、クロマツは各区とも、対照区とはぼひとしい発芽をみたのであるが、アカマツは、とくにC区において、いちじるしく発芽を抑えられた。

もちろん、この実験は、むしろ予備的実験の段階にすぎず、この結果から直ちに、NaClの発芽阻害作用の結論をひきだすわけには行かないが、少なくとも、アカマツ種子とクロマツ種子の発芽に関して、海水組成分中、とくにNaClの阻害作用が、MgCl<sub>2</sub>のそれよりも、より強くあらわれることが予想しえられたといえよう。

以上を総合して、培地における過剰塩分の存在は、両種の発芽を阻害することは確かであり、しかも、その阻害作用は、アカマツにおいて、クロマツよりも、より強くあらわれることが明らかになり、さらに、海水組成分中、NaClが、その阻害作用を与える主体であることが想定される。

すなわち、本実験においても、多くの研究報告にみられるように、培地における過剰塩分の存在が、種子の発芽を阻害するという結果をえ、同時に、その阻害の程度は、アカマツにおいて、クロマツよりも、より強くあらわれる結果を確認した。この結果からして、海岸地帯における両種の分布には、その林地における海塩の存在が、重要な関係をもつてであろうことが推測されうるし、この場合、とくに、アカマツはクロマツよりも、より強く、林地の海塩の存在によって、その分布が規制されるであろうことが、明らかにされた。

### 第3節 アカマツおよびクロマツ種子内の塩分々布

作物の耐塩性に関しては、HaywardおよびWadleigh<sup>(32)</sup>によれば、培地の浸透圧の増加を相殺するために組織汁液の浸透圧を増加しうる能力のあるものほど、また、イオンの過度の集積を巧みに排除するという調節能力のあるものほど、さらに、集積したイオンの有害作用に耐えうる原形質個有の能力のあるものほど、耐塩性が強いものと考えられる。したがって、塩類の集積に対して、その原形質が、特殊の鋭敏性をもっていることが、作物の耐塩性を低くしている原因のひとつであるといえる。

植物の耐塩性に関する生理機能についての、このような考え方は、第2節において触れたごとく、古く Shull などによってすでに指摘された、細胞膜の半透過性と密接な関係をもつものであって、つまり、ある植物の耐塩性を決定する重要な一条件は、その植物の細胞膜が塩分に対し、どのような半透過性をもつかにあるともいえるであろう。

#### 1 生体染色による観察

筆者は以上の理由から、アカマツおよびクロマツの耐塩性を研究する一つの重要な手がかりとして、アカマツおよびクロマツ種子の発芽過程における、塩分の吸収と分布、移動について、その状態を明らかにし、それによって両種の耐塩性に関する一側面を検討しようとした。すなわち、発芽過程において、種子内に集積する塩分の様相と、さらに、その集積の過程において、塩分の吸収とその移動のありさまを把握し、また、本来、種子内に、もし塩分が蓄積されているものとすれば、そのすでに蓄積されているところの塩分が、種子の発芽過程において、どのような動きを示すかを明らかにするべく、まづ、生体染色法を応用し、顕微鏡による組織観察をおこなった。

久保および堤<sup>(33)</sup>は、生体染色法によって、米粒内の塩素の移動を観察し、分析結果と同様に、米粒内のぬか部の塩素は、貯蔵中にその大部分が、胚乳部に移行する状況を検鏡した<sup>(34)</sup>。

もっとも、植物組織中の塩素についての生体染色法の適用例はすくないが、動物組織については、しばしば、Macallumの方法、Leschkeの方法、Groebbelsの方法、あるいは、Lisonの方法などが適用されている。しかし、これらは、いずれも真正の意味での染色法ではなく、塩素と銀塩による塩化銀沈澱反応や、塩化銀の感光反応などが利用されているものであって、これらの方法には本来、目的の塩素イオンはきわめて拡散しやすいのに対し、銀塩は重く、そのためにほとんど拡散されない。さらに、銀塩は細胞構成物質をいちじるしく凝固させ、試薬の侵入をきわめて阻害するという重大な欠陥が指摘され、そのためClの局在性をこれらの方法によって正しく把握することはきわめて困難である<sup>(35)</sup>という重大な欠点を含む。

そこで、筆者は、予備的に、以上の諸方法をそれぞれ実際に適用した結果から、Macallumの方法に主として準拠することとし、まづ、種子を蒸留水で洗い、外種皮を眼科用メスで剝離したのち、厚さ約0.3mmの切片とする。この切片をペトリ皿にとり、切片の上からピペットで、硝酸銀アルコール溶液（硝酸銀1gを90%アルコ

ール100mlに溶解)をしずかに滴下し、これをそのまま暗箱内に約15分間静置したのち、切片を0.5%硝酸(ただし溶媒に90%アルコールを用う)で充分に(3回)洗滌する。以上の処理を終えた切片を、露光処理するのであるが、この場合、光源は、太陽でも、太陽灯あるいは紫外線灯などでも、効果は同じであるが、光線の照射量を一定にするためには、後者による方がより便利であるので、ここでは、主として医療用太陽灯を用いて露光を行った。露光処理を終った切片は無水アルコールで充分洗滌し、グリセロールで封入し検鏡用プレパラートとした。

被検体として、まづ、アカマツ、クロマツを、置床前のもの、および、蒸溜水注加の発芽床に置床した種子のうち、まだ発芽していないもの、および、発芽して幼根が伸び出したものの種を取りあげた。その結果、アカマツ、クロマツとも、置床前および置床してもまだ発芽していないものについては、明確な塩素の分布が観察できなかった。(写真1と9参照)それに対して、発芽後のものについては、アカマツにおいて、子葉の表皮細胞と初生通道組織の部分に、また胚軸の部分では主として前形成層部と髓の部分とにおいて、染色が顕著であることを確認した(写真2~7参照)しかし、この場合、芽の伸長度の大きいものほど、一般に、よく染色される傾向をもつようである。

これに対し、クロマツ種子では、アカマツにおいて認められたような各部位についての、明確な染色は、ほとんど認められなかった。(写真9, 10参照)これらの観察結果から、本実験において取りあつた処理の範囲内では、アカマツ種子は、発芽過程のすすむにつれて、その種子内の塩素が、特定の部位に次第に移動、集積すること、および、クロマツ種子では、そのような傾向が必ずしも明らかでないことが認められた。

つぎに、海水90:純水10の混合液を用いた発芽床に置床し、不発芽になっているものについて、同様の処理をおこない検鏡したが、アカマツもクロマツも、ともに明確な染色は認められなかった。

なお、これらの不発芽種子、とくにアカマツ種子は、すでに枯死しているものようで、組織にいちじるしい亀裂を生じているものがあるのが観察された。また、両種子とも組織の収縮によって、胚と胚乳部の接触面に大きな間隙を生じた。(写真11参照)

さらに、海水90:純水10の混合液を用いた発芽床に置床し、芽が0.5cmおよび1.0cmに伸びたアカマツ種子、また芽が1.0cmに伸びたクロマツ種子について観察したが、アカマツ種子については、同じ発芽段階では海水に置床されたものが、蒸溜水に置床されたものより全体として塩素の分布が多く、とくに海水に置床されたものは胚乳部と胚部との染色程度の差が、蒸溜水置床のそれよりもいちじるしいことが認められた。(写真8参照)この事実は、培地の塩分が胚乳部よりも胚部に対してより多く集積することを示しているものと考えられる。

しかし、クロマツ種子では、海水に置床されたものでも、アカマツの海水に置床されたものにくらべ、その染色程度は低い。(写真12参照)

さらに、検鏡の資料として、アカマツ、クロマツを $MgCl_2$ の溶液を注加した発芽床に置床し、わづかに発芽しているものをとり上げた。その観察結果は、前述の蒸溜水置床の場合と、ほぼ等しいものであって、アカマツでは、明確に染色の状態を観察することができた。

この生体染色の観察結果からだけいえば、一応、クロマツ種子がアカマツ種子よりも、その発芽過程にともなう塩素の種子内における移動・集積が、さらにこのことから、種子内への塩素の吸収ないし吸入が少いもののように思われるが、とくに、ここで注意すべきことは、この方法には、すでに述べたような理論上の批判があり、この方法の生体染色に対する致命的欠陥の存在を無視することは絶対に許されないことである。それゆえ、この方法だけで、Clの種子内における動きについての正しい判断を下すことは望むべくもないことであろう。しかしながら、塩分の生体内における観察を可能にする方法としては現在のところ、このような根本的欠陥を容認してもなお、その存在価値を全く否定し去れないものがあると考えられる。つまり、塩素の局在位置が、常に正確に把握されるとはいえないとしても、たまたま染色される場合には、充分にその組織中における具体的な位置を観察することができるのであって、その限りにおいて、塩素が植物の生理活動の場で演ずる役割を推測する貴重な一資料となりうるものであろう。

問題は、この方法を応用して、さらに塩素の定量的な観測にまで推し進めようとすることである。この要求をこの方法によって充すことはほとんど絶望的であると考えられる。

とはいえ、これらの観察結果を通じて考えさせられることは、両種の種子が吸収ないし吸入したClをその組織

中に集積するかたちは、それぞれ異っているのではなかろうかということであり、また、さらに観点をかえて、観察結果からいえば、両種の種子のもつ細胞膜ないし細胞原形質が、銀塩試薬に対して示す反応性に、それぞれ相違があり、そのために、それぞれの種子の染色効果に大きな相違が生ずるのではないかということが、この方法を通じて指摘できる。

いづれにしても、本実験では、すでに発芽を開始しているアカマツの種子では、胚乳部にはきわめてわずかの塩素の分布がみられるにすぎず、塩素は主として胚部に多く分布することが観察された。

久保ら<sup>(33, 34)</sup>によれば、米粒内の塩素の分布は、はじめ新米のうち、ぬか部に多く、それが貯蔵したあとでは、胚部に多くなるところから、貯蔵中に塩素が移動することを推定しているが、このことは本実験において認められた結果と、一面において、あい関連する問題をもつものと考えられる。

## 2 化学分析による塩分の定量

筆者は、生体染色の観察結果が、少くとも、現在筆者の手もとでとりうる可能性のある方法による限り、種子中の塩分量の多少を確めるには、その方法として、必ずしも完全でないということから、さらに生体染色法による実験の補正的手段として、化学分析法を採用することとした。すなわち、アカマツおよびクロマツ種子について、それぞれ、置床前のもの、蒸留水およびNaCl溶液注加の発芽床におかれて、すでにある程度芽の伸長しているものについて、それぞれ胚および胚乳のもつ塩分の定量を試みた。

この目的のためには、当然、わずかの材料をもって、それに含まれるNa、およびClを正確に定量することが要求される。

ところで、植物に含まれる微量成分の分析は、とくに、生理および生化学の立場から、最近、重視されているところであって、その分析定量法についても、種々の研究がおこなわれている<sup>(36)</sup>。しかしながら、林木についての、この方面の研究は少く、とくに、マツ種子についての見るべき研究は、現在のところ、ほとんど皆無といつてよいであろう。

### a. アカマツおよびクロマツ種子中のNa量

ところで、植物の無機成分の定量をおこなうには、まづ、その組織の液化、ないし灰化操作をおこなう必要があるが、微量成分の定量を目的とする場合、従来の湿式灰化法や乾式灰化法には、必ずしも満足すべきものが見あたらない<sup>(37)</sup>が、各種の予備的実験を重ねた結果、その後の実験操作との関係上からも、比較的満足すべき方法として、ここではPiperの硫酸、硝酸および過塩素酸を用いるMicro Digestionの方法<sup>(38)</sup>を採用し、この方法に準拠して、実験をおこなうこととした。

試料調製のために用いた種子数は、各区とも、それぞれ5粒宛とし、その外種皮を除き、胚と胚乳部に完全に分割して、試料の調製に供した。なお、各区の種子の発芽条件は第11表に示す通りである。

第11表 試料の芽の伸長度 (cm)

樹種	処理			
	置床前	H <sub>2</sub> O	NaCl(1)	NaCl(2)
アカマツ	0	2.20	1.94	1.08
クロマツ	0	2.36	2.64	2.20

註：○ NaCl(1) …… NaCl 1.2g/L  
 ○ NaCl(2) …… " 2.3g/L  
 ○ 測定数 …… 各区5粒宛

定量方法については、Chelate 滴定法<sup>(39)</sup>などの有効な定量法が種々考えられるが、予備実験の結果、現在のところ、もっとも満足すべき結果をえた、炎光分析法を採用することとした。なお、Naの定量には、京都大学農学部林学科四手井研究室所属の、島津製作所製、光電分光々度計に炎光分析用部品を取り付けて使用した。

炎光分析による結果は、第12表および第13表の通りである。

ところで、植物の無機成分の定量には、当然、量の目的や、その用いる試料などによってそれぞれ適法が考えられるべきはずであり、また、とくに微量成分の定量にあたっては、その含有量が少なければ少いほど、定量した値が、真の含有成分そのものの値であるかどうかを、慎重に考えるべき<sup>(40)</sup>で、この前提よりして、本実験が種々の点からみて、理想的方法によっておこないえたとはいえず、処理法のうえで、今後改善すべき点が介在することをみとめざるをえない。

### b. 生体染色法による結果に対する検討

植物体中のClの定量法には、比色法、比濁法などの種々のすぐれた方法があり、また、よく知られる Volhard

法などによって代表される、いわゆる滴定法等々があげられるが、ただ、試料の調製にあたって、乾式法は、少量の試料に対しては不便であるし、なによりも、灰化の過程でのClの損失量に問題を残す<sup>(41)</sup>うらみがあって、微量分析には、あまり好ましい方法とはいえない。また、湿式灰化法については、種々の酸化剤とともに、溶液中で加熱分解する方法などが考えられるが、その後の定量操作との関連などから、あまり満足すべき結果をえられず、現在、筆者はSchönigerによって提案されたSchöniger Flask Combustion Methodによる試料調製法について、種々予備的実験を進めている段階であり、種子中のCl量についての化学分析による測定結果をえていないために、直接Cl量の分析値によって、生体染色法による観察結果を検討できないことは、遺憾であるが、実際問題として、アカマツおよびクロマツ種子中に存在するClは、おそらく、主としてNaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>などのかたちであろうし、さらに、これらのうちで、もっとも多く存在するかたちは多分、NaClとしてであろうと推定される。

1例として、下瀬<sup>(42)</sup>が、水稻の塩害を検討する目的で、過剰の食塩を培地に与え、水稻の生育過程における無機成分の吸収について研究した結果によれば、その生育過程における茎葉中の塩素含有量とナトリウム含有量の消長の間には、きわめて密接な関係がみとめられ、塩素量が増大すると、それとほとんど同時にナトリウム量が増え、また、塩素量が減少するにつれて、

ナトリウム量も減少する。これに対し、マグネシウムおよびカルシウムの含有量の消長には、必ずしもこのような関係を認めがたい。

このような事実から、いま仮りに、Na量によって種子中のCl量の概略を推察することが許されるならば、第12表および第13表の結果からして、塩分の発芽過程における動きについては、以下のことが想定される。すなわち、発芽過程において胚乳部には塩分の集積がほとんどみられず、アカマツの純水区においては、むしろその減少さえみられることが予想される。このことは、久保ら<sup>(33)</sup>がおこなった米粒内の塩素の移動に関する研究において、新米のぬか部に集積しているClが、その貯蔵中に胚部に移動することをたしかめている点から推しても可能性のあることと考える。

胚部に対する塩分の集積については、発芽にともなって、塩分量が増加するが、しかし、アカマツとクロマツとで、その増加率にかなり相違のあることが予想され、とくに、アカマツにおいては、NaCl溶液区で塩分の集積が顕著である。ことに、NaCl 1.2g/L溶液区では、NaCl 2.3g/L溶液区に比較して相当多量の塩分が集積するであろうことを第12表の結果は示唆する。

第12表 アカマツ種子のナトリウム含有量

部位	区 分 項 目	置床前	H <sub>2</sub> O	NaCl(1)	NaCl(2)
		胚	Na 総量 (mg)	0.57	1.10
部	生体量 (mg・総)	2	100	40	35
	Na(mg)/1mg(生体)	0.285	0.011	0.066	0.012
	Na (mg) / 1 粒	0.11	0.22	0.53	0.08
胚	Na 総量 (mg)	0.52	0.08	1.23	0.58
乳	生体量 (mg・総)	25	20	20	30
	Na(mg)/1mg(生体)	0.021	0.004	0.062	0.019
	Na (mg) / 1 粒	0.10	0.02	0.25	0.12

註：○ NaCl(1) ----- NaCl 1.2g/L  
 ○ NaCl(2) ----- " 2.3g/L  
 ○ 供試数 ----- 各区5粒宛

第13表 クロマツ種子のナトリウム含有量

部位	区 分 項 目	置床前	H <sub>2</sub> O	NaCl(1)	NaCl(2)
		胚	Na 総量 (mg)	0.33	0.61
部	生体量 (mg・総)	3	60	87	85
	Na(mg)/1mg(生体)	0.110	0.010	0.009	0.011
	Na (mg) / 1 粒	0.07	0.12	0.16	0.18
胚	Na 総量 (mg)	0.53	0.57	0.73	0.54
乳	生体量 (mg・総)	37	35	50	55
	Na(mg)/1mg(生体)	0.014	0.016	0.015	0.010
	Na (mg) / 1 粒	0.10	0.11	0.15	0.11

註：○ NaCl(1) ----- NaCl 1.2g/L  
 ○ NaCl(2) ----- " 2.3g/L  
 ○ 供試数 ----- 各区5粒宛

これらのことは、中山<sup>(43)</sup>が、種子の塩害について、塩分濃度の高い場合は、種子の吸水障害が主であり、低い場合には塩分の浸透による直接の害からおこるとしていること、また、Na 総量から推定するアカマツおよびクロマツ種子の胚部えの塩分集積の様相のちがいは、伊藤および稲川<sup>(44)</sup>が、NaCl 溶液を用いて、アカマツおよびクロマツの苗木が示す、NaCl の吸収特性をしらべた結果、NaCl 0.2%および0.5%の低濃度区では、クロマツはアカマツにくらべNaCl の吸収が抑制され、これに対し、0.8%と1.0%の高濃度区では、両種の差はみとめられなかった事実などと照合して、この推測の妥当性がほぼ認めうるのものであって、両種の耐塩性を検討するうえで、きわめて重要な問題を含むものと考えられる。

さらに、重要な点は、発芽とその後の生育にともなう、生体の増量、とくに、胚の増量と生育にともなっておこる、その部分えの塩分の集積量とは一致せず、生体の増量率の方がはるかに大きいことである。それは、もし吸収された塩分が、生体内に均等に分布されるとすれば、生育にともなって、生体内の塩分濃度は、次第に低くなるわけであるが、すでに、生体染色による顕微鏡観察から明らかにされたように、吸収された塩分は生体内の特定の部分に、集中的に集積するものと考えられ、したがって、集積総量の増大は、生体内では、主として、塩分を集中的に集積する部分えの増量としてあらわれると考えられる。それ故に、生理作用におよぼす発芽床中の塩分の影響は、この点からして、種子の発芽に際して特に重大な影響をもたらすものと考えられる。

以上を総合して、Na の定量結果から生体染色による顕微鏡観察結果を検討すれば、生体染色法によって生体内における塩素の有無を、つねに明確に把握することは、生体染色法に対する理論上の批判によって、すでに明らかのように、ほとんど不可能ではあるが、しかしながら、特定の条件が充された場合——それは主として、1 定部分に対する塩素の集積量に関係し、1 定量以上の塩分が、その部分に凝集したとき、多くは、可視的となると思われる——塩分の有無について、検鏡が可能となり、その場合に限り、塩素の局在性を生体染色法によって、確認することが許されるものと思われ、その限りにおいて、両種の種子内および幼植物体内の塩素の存在を確める方法としての生体染色法は、有力な一手段と考えてよいであろう。しかし、種子内塩分の検定に対する生体染色法の適用について、このような考え方がゆるされるとすれば、本節1、における検鏡の結果もまた、両種の種子内における塩分の分布を検討する上で、きわめて重要な意義をもつものと考えられる。

#### 第4節 過剰塩分とアカマツ種子中の遊離アミノ酸との関係

第2節において触れたように、発芽床の海塩は、マツ種子、とくに、アカマツ種子の発芽をいちじるしく阻害するが、この海塩がアカマツ種子の生理作用に対して、とくに妨害的に作用するものとするれば、発芽に際しておこなわれる種子蛋白の代謝機能についても、当然ある種の影響がみられるはずである。すなわち、筆者は、この問題を検討するべく、発芽過程における種子中の遊離アミノ酸が、どのように変化するかを究明し、その知見からアカマツ種子の塩害に対する実態を解明するための手がかりを得るべく、Paper chromatography<sup>(45, 46)</sup>を応用して、発芽過程における種子中のアミノ酸の消長につき検討した。

##### 1 実験方法

本実験は、第2節と同一の材料について、上昇法による、1次元 Paper chromatography<sup>(47, 48)</sup>を適用した。

試料の調製については、置床された種子の中から無作為に、20粒の種子をとりだし、これを眼科用メスを用いて種皮を除き、胚乳と胚とに分離し、それぞれを乳鉢に入れ、10%アルコール3~5 ml中で十分にすりつぶし、24時間アルコールで飽和したデシケーター内におき、これを濾過し、この濾液を濃縮、乾涸しておく。

試料の展開にあたって、これを10%イソプロパノール0.2mlで溶かし、この溶液をガラスの毛細管で吸い上げ、一次元クロマト用濾紙（東洋濾紙No. 50 2×40cm）を用いて展開した。溶媒は、n-ブタノール：酢酸：水（4：1：2）を用い、専用のガラス円筒内で、上昇法により展開し、0.2%ニンヒドリン溶液を噴霧し、アミノ酸の検出をおこなった。

検出結果は、第14表および第15表の通りである<sup>(49)</sup>。なお、表に示した符号は、Chromatogram に現われた spot の呈色の程度を表わすものであり、同一種のアミノ酸についてだけみれば、濾紙にあらわれる spot の呈色程度は、そこに検出されたアミノ酸の量に、ほぼ比例するものと考えてよく<sup>(50)</sup>、たとえこの呈色の程度からアミノ酸の量を推測することが不当であるとしても、強い呈色の spot が、アミノ酸の存在をより確実に示すものであるという点に誤りはない。



第14表 アカマツ種子中（胚部）のアミノ酸

Free Amino acids	区分			0			20			40			60			80			90			100			置床前 (対照区)			
	置床日数			(標準区)																								
	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35				
Leucine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Phenylalanine																												
Valine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tyrosine		+	+		±	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	
α-Aminobutyric acid		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	
Proline	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Alanine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Glutamic acid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Basic amino group	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Asparatic acid	+	+	+	±	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cystine	-	+	+	+	+	+	+	+	+																			

第15表 アカマツ種子中（胚乳部）のアミノ酸

Free Amino acids	区分			0			20			40			60			80			90			100			置床前 (対照区)			
	置床日数			(標準区)																								
	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35	7	21	35				
Leucine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Phenylalanine		+	+			+			+			+			+			+			+			+			+	+
Valine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tyrosine	+	+	+	±	+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	
α-Aminobutyric acid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Proline	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±
Alanine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Glutamic acid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Basic amino group	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Asparatic acid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Cystine		±	+		±	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	

2 実験結果と考察

貯蔵種子の周年の経過、および正常な発芽の過程における遊離アミノ酸の動きについてはすでに報告してきた<sup>(51, 52)</sup>が、本実験においては、海塩の存在下における発芽について、その発芽経過にともなってみられる種子内のアミノ酸の動きについて<sup>(53, 54)</sup>検討する。

a. 胚 部

0 (水)、20、40、60、80、90、100の各区に、全期間を通じてみられるものは、ロイシン、バリン、プロリン、アラニン、グルタミン酸および、アスパラギン酸で、これらのうち、置床前の種子にみられるものは、バリン、アラニン、グルタミン酸および、アスパラギン酸である。

また、置床7日以後に各区で検出されたものに、チロシンがある。

α-アミノ酪酸は、海塩の多くなるにつれて、置床後の早い時期から検出される傾向を示し、シスチンは反対

に、海塩が多くなるにしたがってその発現をみなくなる。また、塩基性アミノ酸群については、極くわづかながら、海塩の多くなるにつれて多く検出される傾向がみとめられる。

#### b. 胚乳部

0 (水), 20, 40, 60, 80, 90, 100の各区を通じ、全期間を通じて検出されたものは、ロイシン、バリン、 $\alpha$ -アミノ酪酸、プロリン、アラニン、グルタミン酸および、アスパラギン酸で、これらは、 $\alpha$ -アミノ酪酸を除いたほか、概ね胚部の示す結果と等しい。

胚乳部でみられるいちじるしい違いは、シスチンで、胚部では海塩の多くなるにつれて少くなる傾向を示したに対して、胚乳部ではこれと反対に、多くなる傾向を示した。

また、胚部で検出されなかったフェニールアラニンが、0 (水), 20, 40, の各区で、とくに、0 (水) の区で置床する週間以後に確認された。

さらに、傾向としては胚部と同様であるが、塩基性アミノ酸群が、海塩の多くなるにつれて、置床後の時間の経過とともにいちじるしく多く検出された。

#### c. 考 察

実験結果からみて、遊離アミノ酸のあらわれ方は、発芽床に対する注水のなかに海水が混入する量が増すにつれて、次第に標準区と異ったかたちをとった。すなわち、胚部では、0区 (水, 標準区) で、正常な発芽経過にもなって、置床日数の経過とともに、各アミノ酸が順調に増量し、塩基性アミノ酸群と他のアミノ酸の発現のあいだの調和がよくとれているように見える。

これは、正常な発芽経過にもなって、正常な代謝がおこなわれていることを意味するものであり、これに対し、過剰の塩分の存在によって、異常発芽をひきおこしている区、たとえば、100区 (海水) においては、各アミノ酸の発現量が全体として少く、胚における代謝の低調さを物語る有力な指標となるものと考えられる。とくに、標準区においては発芽の経過にしたがって、いちじるしくその発現量の増大をみたところの、シスチンについてみると、60, 80, 90, および100区で、全期間中全くその発現がみられなかった。

一方、胚乳部については、胚部に比較して、もっともいちじるしい相違のみられた点は、発芽床における塩分量の増大にもなって、塩基性アミノ酸群の発現量にいちじるしい増大が認められたことで、これは、アカマツ種子の発芽に際して与えられる発芽床の異常条件が、その代謝機能を攪乱することに起因するものと考えられ、海塩の存在によって、種子蛋白の代謝が順調にすすまず、塩基性アミノ酸が、異常に増大するもので、これはつまり、アカマツの発芽に対する海塩の明確な生理的阻害作用を意味するものと考えられる。すなわち、胚部においてみられた、過剰塩分の存在する区での代謝機能の低調は、単なる生育の停頓ではなく、前節で明らかにされたごとく、塩分の生体内への集積、とくに胚部への集積にもなって、ひきおこされる生理的な阻害作用にもとづくものと考えられる。また、フェニールアラニンは、胚部におけるシスチンと同様 60, 80, 90および100区の各区で、その発現がみとめられず、また、チロシンはこれらの区で、その発現がおくることがみとめられた。なお、シスチンについては、胚部と反対に、海塩の増大とともにその発現が早まり、その量も増大する。

一つのアミノ酸に対する要求が、生物の種類によって、いちじるしく異なることは当然であるが<sup>(55)</sup>、培地における塩分の存在が植物の生育過程における窒素代謝を異常ならしめ、その結果、正常なものにくらべて、アミノ酸についても、きわめていちじるしい差異をみとめうということ、いろいろの植物についておこなった研究結果<sup>(56)</sup>から総合して、これらの植物に共通的に指摘しうる点であり、本実験によって、アカマツについてもまた、その事実を明確にすることができた。

なお、本実験においては、塩基性アミノ酸群に対する分解的追究はおこなわれなかったけれども、この群中に含まれる主体は、おそらく、アルギニン、ヒスチジン、およびリジンなどであろうことが想定される、しかし、これらの追究については、今後二次元 Paper chromatography などの適用によって、明らかにする予定である。

### 第5節 摘 要

一般に、植物の天然分布は、温度と水と土によって規制されるが、アカマツおよびクロマツの天然分布もその例外ではなく、大局的には温度と水分とによって、その天然分布が規制される。しかし、一般に、アカマツはクロマツに比較して、より広い分布域を占める場合が多いが、ときとして、局部的にクロマツがアカマツを凌駕し

優位を占める場合がみられ、そのような傾向は、特に、海岸地帯において、著しい。このような、アカマツおよびクロマツの天然分布に関する局地的変動の重要な一要因として、海岸地帯の特殊環境が考えられる。すなわち、大局的には、温度と水分によってその分布が規制されながらも、反面、海岸地帯の特異的な環境条件が、その天然分布を左右する条件としてはたらく場合がみとめられる。この場合、海岸地帯の特異な条件が両種の天然分布の規制条件としてはたらくのは、およそ、年平均気温 $13^{\circ}\text{C}$ から $15^{\circ}\text{C}$ の地域、あるいは、雨量指数からみて、およそ $100^{\circ}\text{C}$ ないし $105^{\circ}\text{C}$ 前後から $120^{\circ}\text{C}$ ないし $125^{\circ}\text{C}$ の地帯であることを推定し、この範囲内においてアカマツおよびクロマツ種子の耐塩性とその天然分布の関係を検討することとした。しかして、その目的から、次の一連の実験をおこなった。

すなわち、まづ、過剰の海塩の存在下における培地で、両種の発芽がどのようにおこなわれるかを検討し、培地に対する海塩の存在が、クロマツよりも、よりアカマツの発芽に対して阻害的にはたらく事実を確めた。

さらに、実際問題として、海水の塩類組成成分中、海塩の発芽阻害作用に関して、もっとも主導的な役割を果しているのは $\text{NaCl}$ であることを認めた。これに関連して、海塩の発芽に対する阻害作用の機構につき、とくにアカマツ種子では、その発芽の経過にもなって、胚部に対し塩分が集積してくる事実を確認するとともに、培地における過剰塩分の存在が、種子の発芽過程において、その蛋白代謝をいちじるしく攪乱する事実をも認めた。

これらの結果から、培地の過剰塩分が種子の発芽機能を阻害する機作は、発芽時の吸水にともなう胚部への $\text{Cl}^{-}$ の集積によってひきおこされる生理機能への妨害作用と、培地のもつ塩分の存在が、その種子に対して生理的な乾燥状態をもたらす局面との総合であることを推論した。さらに、以上の結果から、培地における過剰の塩分の存在が、クロマツよりも、よりアカマツの発芽に対して阻害的にはたらくことは明らかであり、天然分布の第一階梯であるところの発芽の可能性を、培地における海塩の存在との関連において考えるならば、本論文でとりあげた分布域内においては、その海岸地帯で、クロマツの天然分布がアカマツのそれよりも優位に立ちうる可能性を多くもつ場面のおこりうることを想定した。

すなわち、本章において、如上の条件下におけるアカマツおよびクロマツの天然分布のかたちが、その林地に海から持ち込まれる海塩の量によって、大きく影響されると考えられる局面をあきらかにした。

なお、現実の林地に対する調査結果から、両樹種の種子は、両種の交雑種の混入する可能性があることを推定し、それが、種子を材料としておこなったこの種の実験結果を判断する場合、充分に考慮される必要のあるであろうことを指摘した。

以上の諸結果からして、しからば、現実に海岸林地の土壌に対する海塩の搬入が、どのようなかたちでなされているか、また、その海塩の分布、移動がどのような状態にあるかが、アカマツおよびクロマツの実際の天然分布を規制するうえで問題となる。すなわちこの問題についての検討を第3章においておこなう。

### 第3章 海岸林に対する海塩の搬入とその分布

#### 第6節 海岸林地に対する海塩の搬入

第2章において、すでに検討した結果からみて、アカマツおよびクロマツ種子の発芽機能に対する、培地の塩分の存在の意義はきわめて重要である。それゆえ、種子の健全な発芽と、その後の幼植物の生長とが、少くとも、アカマツおよびクロマツ林のその地点における自然成立の第一条件となるものとすれば、林地に対してもち込まれる海塩の存在は、両樹種の自然成立を規制する重要な一条件となることは当然であろう。とすれば、海岸林地における塩分問題の究明は、アカマツおよびクロマツの生態的な諸問題を解明するうえで、きわめて重要であるといわねばならない。

しかして、問題究明の第一段階として、筆者は、まづ、海塩が海岸地帯にどのようなかたちで搬入されるかを検討した。

##### 1 海塩粒子の発生機構

海岸地帯に対する海洋からの海塩の搬入については、種々の場合が考えられるが、林木の生育と直結して重大な影響を与えるのは、単に海塩の搬入される総体の量だけではなく、むしろ、搬入された海塩が、どのような位

置にどれだけの量で止められているかということである。このような見地からすれば、海塩の搬入量の問題は、当然、林木の生長に直接影響を与えるようなかたちでの海塩搬入について、その量の多いのはどのような場合かという点にしばって考えられるべきである。ここでは、論議の目標からして、とくに海水の異状な浸潤、あるいは高潮などによる海水の内陸侵入等々のような特殊の場合を除いて考究することとする。

このように限定した場合、内陸に向って搬入される海塩の主体は、海風によるものといつてよく、これは、暴風時に主として汀線や海上で砕けた波頭から、塩分粒子が気流に乗って陸上にもち込まれ、重力作用で漸次大粒のものから地上に落下し、あるいは植物に付着するものと考えられる<sup>(57, 58)</sup>。

北および綾<sup>(59)</sup>は、強風によって海水塩分が地表に散布される状況について調査した結果、風向を基線として、1 kmぐらゐまで見とおしのきく平坦地で、最大風速20m/secのとき、巾1 m、長さ1000mの地帯に対してClの落下する量を実測した結果から、その量Qは、

$$Q = 13.06 \text{ gr. hr}^{-1} \text{ (Cl)}$$

となり、この塩分量は当時の海水800cc くらいの量に相当することを明らかにした。

Woodcockら<sup>(60)</sup>は、海塩の気流中への分離混入機構について、毎秒約3000コマの高速度撮影法を応用して、海面の泡がこわれ、小さな水滴ができる実態をとらえ、直径約1 mmの泡から0.1mmの液滴が生ずる事実を把握した。さらに、Knelman<sup>(60)</sup>はこれにもついで、泡がこわれ、小さな液滴を生じ、そのあとの水面にくぼみができ、つぎに周囲から水が押しよせて、ついに勢いよく盛りあがり、jetをなして、その先端がちぎれ、小さな水滴を生ずることを確かめた。

いま、北ら<sup>(66)</sup>が指摘するように汀線および海上において砕けた波頭から海塩を含む飛沫が生成されるにしろ、Woodcockら<sup>(59, 60)</sup>のたしかめたような機構によって、海塩粒子が気流中に分離してくるにしろ、いづれも、これらはある程度以上の速度をもつ空気の流動が海塩搬入の前提となることは明らかである。

事実、多田<sup>(61)</sup>は、送電碍子に対する着塩量をしらべ、碍子1個あたり70mgの着塩量を示すとき、沿岸から200m沖合までの海上における推定風速は、10~20m/secだったとし、種々の観測結果を総合して、調査当時、海水面からの塩分放出と陸地への搬入量は、かなり多かったであろうことを推定している。

いづれにしても、海面からの自然蒸発にともなっておこる塩分の空気中への溶け込みの量は、一般に少いものとみてよく、気中塩分の供給機作の主体は、ある程度以上の速さをもった風であるといえよう。

## 2 海風中の塩分量

海風によって内陸に搬入される塩分量の測定には、枠に張ったガーゼを適当に蒸溜水で湿めらせ、風向に直角に保持しながら、一定時間海風に曝らし、このガーゼを蒸溜水で洗い出し、その浸出液中の塩分量を定量する方法<sup>(62)</sup>が、普通もっとも多量におこなわれる。

この方法により、静岡県御前崎測候所で実測した結果は、第16表の如くであり、ガーゼに対する付着塩分量

第16表 風速と気中塩分量 (御前崎測候所による)

平均風速 (m/sec)	0.3	0.9	2.5	4.4	6.7	8.4	12.3	15.5	19.0	22.6
塩分 (mg/m <sup>2</sup> /hr)	0.1	5.9	7.4	16.1	20.3	31.8	35.5	51.5	47.5	123.0

は、風速の増加にともなって、いちじるしく増加してくる<sup>(63)</sup>。また、同所で、空気中の塩分量について、風速、風向、および天気との関係を調査した結果<sup>(64)</sup>は、第17表の通りであって、上記の観測結果と、ほぼ同様な傾向がみとめられるが、その時の風向条件も同時に、塩分量を左右する要素となることが理解できる。

碍子塩塵害対策専門委員会は、これらの関係について、さらに研究をすすめ、季節風の気中塩分量と風速との関係を、その塩分捕集量から検討した結果、大隅海岸では、西風と北風とで、同じ風速でも風のなかに含まれる塩分量には明らかな相違のあることを確めた。また、この場合、海風の海上通過の距離のちがいで、気中の塩分量がかわること、さらに、気中塩分量は風速が15m/sec以下では、風速とはほぼ直線関係にあり、風速15m/sec以上では、塩分量が急激に増大する傾向がみとめられるとし、気中塩分量と風速との関係に関する次の実験式を示している<sup>(65)</sup>。

① 西風の場合

$$C_w = 0.005V_w (2 + V_w)$$

但し、 $7\text{m/sec} < V_w < 19\text{m/sec}$

② 北風の場合

$$C_n = 0.07V_n - 0.25$$

但し、 $8\text{m/sec} < V_n < 16\text{m/sec}$

ここで、 $C =$  空気中の塩分量 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$V =$  平均風速 ( $\text{m}/\text{sec}$ )

海風が内陸に向かって海塩を搬入する状況、とくに、内陸に対する海塩搬入の問題のうちで、その水平的分布については、概略、以上の如くである。

なお、海塩の内陸への到達距離については、概括的にいって普通、海岸からおよそ、 $10\text{km}$  ぐらいまでは海風によって散布されるものとみることができるようである。

本田<sup>(66)</sup>は、この点に関して、庄内地方の各地で、パイロット罫子吊架法により塩分を捕捉し、抵抗法によって塩分量を測定した結果から、海岸に近い温海および酒田ではとくに塩分量が多く、海岸から $20\text{km}$  以上入った八久和におけるその数倍に及ぶことを確認した。ただし、この場合も地形によって、その分布のかたちはいちじるしく左右されるものようで、海岸に山などの障害物がある場合は、たとえ海岸から近くともその塩分分布量が少いことは明らかである。

門田<sup>(67)</sup>は、地上 $2\text{m}$ の高さのところ、ガーゼによって捕捉した塩分量の測定値は、汀線付近の値を1とした場合、汀線から内陸に $100\text{m}$  入ったところでは約 $\frac{1}{2}$ 、 $200\text{m}$ の地点では約 $\frac{1}{3}$ となり、塩素濃度 ( $1\text{m}/\text{sec}$  当りの $100\text{cm}^2/\text{hr}$ の塩素量)も、 $100\text{m}$ で約 $\frac{1}{2}$ 、 $200\text{m}$ で約 $\frac{1}{3}$ となることを実測した。

また、東北電力K.K.<sup>(68)</sup>が、罫子を用いておこなった調査によれば、塩分付着量と海岸からの距離との関係は、特別の場合を除いた最高値をみると、 $0.2\text{km}$ の地点でおよそ $160\text{mg}/\text{個}$ 、 $4\text{km}$ の地点で $90\text{mg}/\text{個}$ である。

さらに、関西電力K.K.<sup>(69)</sup>が、パイロット罫子によって測定した結果からも、季節風の場合、付着塩分量は汀線から入るにしたがって急速にその量が減少することを明らかにしている。

以上、これら各種の実測方法による測定結果からみても、地上に対する海塩散布の状況は、大方推察できる。すなわち、同じ含塩量の海風では、その海塩の地上への散布量は、海岸から内陸に向かって、はじめは急激に、その後内陸にむかって、ゆるやかに減少する傾向を示す。

ところで、雨をともなわない台風、つまり“カラ台風”の場合には、以上の諸報告から類推して、その気中には、当然、きわめて多量の塩分を含むものと想定されるのであるが、“カラ台風”時における気中塩分量の測定例はきわめて少く、神戸海洋気象台の測定<sup>(70)</sup>では、昭和12年9月の台風時に $1,300 \times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$ 、また昭和15年5月に $252 \times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$ 、さらに昭和16年には $(560 \sim 6,700) \times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$ であり、きわめて高い塩分量を示す。

3 降水中の塩分量

林地に搬入される塩分については、海風によるもののほかに、降水のなかに含まれる塩分が考えられる。しかし、降水によって林内に供給される塩分量は、おそらく前項において考察した海風のもたらす塩分量よりは、はるかに少い量ではあろうが、しかしその雨の性質によっては、また、見のがしえないものがある。

雨水中の含塩量については、すでに多くの調査報告があるが、本田<sup>(66)</sup>は、酒田で時間の降水をとり、その含塩量をMohr法によって測定し第18表の結果をえた。これによると、雨水中の含塩量は、冬に多く、夏に少いが、これはとくに、その時期の風速および風向に関係があるようにみうけられる。

また、神戸海洋気象台の報告<sup>(71)</sup>によれば、昭和12年のはじめから9月11日までの降水中の含塩量は、最大 $71.6\text{mg}/\text{L}$  (3月11日)で、最小 $0.3\text{mg}/\text{L}$  (5月21日)だった。

以上は、常風にもなう降水中の含塩量であるが、暴風にもなってくる豪雨の場合には、当然、これと全く様相を異にすることが予想されるのであって、降雨量そのものの異質な増大とともに、その雨中塩分量もいちじ

第17表 風速、風向、天気と気中塩分量

(御前崎測候所による)

風速 ( $\text{m}/\text{sec}$ )	風向	天気	塩分量 ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hr}$ )
17.3	S	クモリ	52.81
9.6	W S W	〃	36.06
3.8	ENE - NE	晴	23.47
2.8	NE	クモリ	0.32
2.2	SSE - S	〃	12.16
1.8	N	晴	0.21
1.5	SSE - S	ウスグモリ	0.43

第18表 降水中の塩分量 (本田<sup>(68)</sup>による)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均風速	9.9	8.5	7.6	6.0	5.4	3.9	4.0	3.7	5.0	5.7	5.6	7.5
15m/sec以上の日数	18	11	11	7	2	0	2	1	3	9	8	13
最多風向	NNW	NNW	NW	NW	SSE	SE	S	SE	SE	SSE	SSE	NNW
平均塩分量 (mg/L)	21.0	20.1	9.7	8.2	8.6	2.1	2.5	3.1	5.1	12.9	21.1	27.5

るしく増大する。

神戸海洋気象台<sup>(72)</sup>が、昭和12年9月に京阪神地方をおそった台風の際におこった観測結果によると、雨中塩分量の多かった11日5時～11日19時では、32.3mg/Lを示し、また、昭和19年の室戸台風の際に、各地でおこった観測<sup>(73)</sup>によれば、雨水中の塩分量は第19表の如くであり、降水に含まれる海塩の量も場合によっては、相当の量にのぼることが考えられる。

第19表 室戸台風の際の雨中塩分量 (中央気象台による)

場所	採水時	雨量 (mm)	塩分量 (mg/L)
中央気象台	9月21日10時～12時45分	1.6	191
品川観測所	21日6時～13時	7.0	113
滝野川西ヶ原	20日23時～21日12時25分	9.6	54

つぎに、雪のなかの塩分量については、東北電力K.K.<sup>(74)</sup>が、東新潟において、昭和35年12月27日から、同36年1月18日までの降雪について、その新雪中の塩分量をMegger

法によって測定した値から換算した結果では、100cc当り、最少0.35mg、最高21.9mgの範囲であった。

なお、このとき、新雪でも試料採集地点により、電解質の含有量に相当の差異がみられたという。さらに、この結果を、昭和35年測定と同所における降雨中の塩分含量と比較してみると、降雨中の塩分量は100cc当り、0.2mgのorderであって、つまり、これらの結果からして雪の中の塩分量が、雨水中のそれにくらべ、はるかに多いことがみとめられる。

以上を総合すると、内陸にむかって海から搬入される海塩の多くは、通常の気象条件下においては、主として、風によってもたらされる場合が多く、特別の場合を除くほかは、雨および雪などによって搬入される量は、風のそれにくらべて、一般に少ないことが推定される。

しかし、風による海塩搬入の量は、風速によって大きな相違があり、風速が大きくなるにつれて、その搬入量は急速に増大する。

さらに、実際問題として、海塩の搬入につき、本研究において注目を要する風速は、種々の点から総合して、概ね5 m/sec前後からと推測され、また、10m/secをこえると、その海塩搬入作用は顕著となる。これに関連して、海塩の搬入量とその地点における風向、およびその地点に達する風の海上における吹走距離なども同時に、海塩の搬入量を左右する大きな要素となる。

### 第7節 海岸土壌の含塩量

海岸地帯にもたらされる海塩は主として、前節においてとりあげたように、一般的には海風——潮風および塩風を含む——と、降水とによるものである。しかし、海岸地帯の植生に対して高い関係と強い影響力をもつものは、常風と一般の降水とであろう。暴風および豪雨などによる突発的な惨害は、もちろん海岸地帯の植生に甚大な影響を与えわたるが、その作用は一時的であって(暴風雨による植物の倒伏、折損、あるいは地相の攪乱などによる後遺作用を見のがすことはできないとしても……)植生の基本に対して強く影響するところのものは、むしろ恒常的に作用する常風ないし、通常の降雨の方がより根元的であると考えられる。

沼田<sup>(75)</sup>は、主風が森林に与える被害は慢性的で、一般の注意をひくことが少いけれども、主風による森林の生産力の低下について軽視されがちであることは重大であり、草本植物の生産力は9 m/secの風速下では、1 m/secの場合の1/3に落ちるといい、とくに高山の森林限界地域、あるいは主風の直角にあたる山岳地方の山背で

は、主風のもっとも強烈な影響を被る事実を指摘している。以上の見地から、筆者は、海岸林土壌のもつ塩分量を通常の気象下において測定することとし、暴風雨などによってもたらされたそれについては、ことさらに測定することはおこなわなかった。

さて、前節においてすでに指摘したように、暴風雨ではなくても、強い風で海塩はよく内陸に搬入されることが明らかとなったが、この内陸に搬入された海塩が、その土壌の表面から下層に向かって、どのように分布しているかについては、余り研究がおこなわれていない。しかしながら、林木の生長にとっては、林内の種々の地点における海塩の垂直的分布の“かたち”は、そこが養水分吸収の基盤であるだけに、そこに立つ林木の生長に重大な関係をもつ。

筆者は、このような観点から、主として香川県下、とくにその東部海岸における、アカマツおよびクロマツ林の土壌を中心に、林地土壌の塩分の分布について調査をおこなった。

なおこの調査では、その測定点を汀線から内陸に70mまでの範囲としたが、これは主として、欧州アカマツ林におけるFritzscheの調査で、主風の影響が林縁より50~60mの林分内部に及ぶとする結果<sup>(76)</sup>などを参考として、設定したものである。

1 水平的分布

海塩の搬入の水平的な関係を調査する目的で、調査の対象となった各林地の海岸線の地点（0とする）、および、この汀線と直角に内陸に向う線上で、汀線から30mの地点（30とする）、さらに70mの地点（70とする）の3地点における土壌を、採土罐（径5cm、高さ5cmのブリキ製の缶で、重ね蓋とする）をもち、これを土壌に押し込むようにして土壌を缶に受け、完全にふたをし、実験室にもちかえり、この土壌を105°Cで完全に乾燥し、この乾土20gを正しく秤取し、プラスチックに入れ、蒸留水200mlで十分に振り洗いし、この洗浄液を濾紙で濾し、その濾液20mlについて、クロム酸カリを指示薬として、0.1Nの硝酸銀溶液で塩分を滴定した<sup>(77)</sup>。これらの操作によって、第20表に示す結果をえた。

この結果からみて、土壌の含塩量についても、上述の諸報告から指摘するように、海塩の量は汀線附近でもっとも多く、内陸に入るにしたがって、初めは急に、後にはゆるやかに減少するという、地上部における塩分分布の一般的傾向と、ほぼ一致する結果をえた。

すなわち、概括的には汀線に近いほど塩分量が多く、汀線を離れ内陸に入るにしたがい減少する傾向をみとめたが、細部的には、ときに、この序列をくつがえして、汀線附近で少く、かえって内陸地点で多くの塩分量を示す場合がみとめられた。

さらに、各地点における塩分量は、測定の時期が異なるにしたがって、種々異なる値をとることを確認した。こゝで、とくに注目すべきは測定の時期の異なることによっておこる、このような一定地点における塩分量の変化の量（振巾）は、一般に汀線において大きく、内陸に入るにしたがって小さくなるという事実である。つまり、長期

第20表 地区別・塩分の水平的分布

NaCl:mg/1g(乾土)

調査地区	測定点*	測定年月日	汀線からの距離 (m)			
			0	30	70	
志度地区		60年 6月 8日	2.2			
		60年10月25日	0.48	0.36	0.40	
		61年 3月29日	0.18	0.18	0.20	
引田地区		59年10月16日	0.80	0.72	0.28	
		60年10月28日	1.02	0.50	0.42	
屋島地区	B	60年10月25日	0.62	1.44	0.54	
		61年 3月18日	0.72	0.78	0.24	
		61年 4月19日	3.16	1.95	0.40	
		61年 5月29日	2.69	0.70	0.23	
島地区	C	59年10月17日	0.30	0.63	0.30	
		59年12月18日	1.23	0.30	0.26	
		61年 3月22日	2.23	0.30	0.12	
		61年 4月20日	0.40	0.34	0.40	
区	D	61年 3月23日	0.88	0.65	0.29	
		E	61年 3月25日	0.23	0.59	0.26
			61年 3月25日	0.23	0.59	0.26
瀧元		59年10月17日	0.65	0.45	0.30	
		60年10月29日	0.60	0.52	0.40	

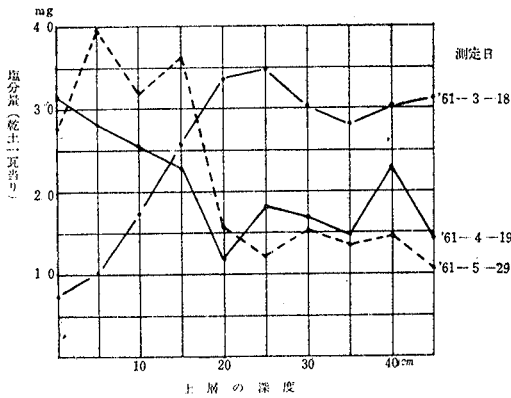
\* 測定点B~Eについては第13図参照

間にわたる塩分量の平均値を出してみれば、いずれの場合も、おそらくは、汀線において塩分量がもっとも大きく、内陸に向って減少しているであろうことで、このことは測定的全期間をとおしてみた結果から推して想像に難くない。しかして、林木の自然成立という点から考えると、このような海岸線付近における土壤表面の塩分量の振巾のおおきき事実は、きわめて重要な問題を含むものとする。

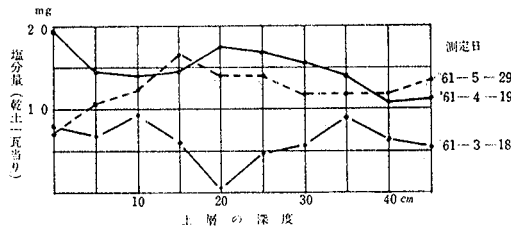
2 垂直的分布

海岸地帯に立つ林木の生育にとって、林地土壤に対する海塩の分布の様相は、そこが根系の分布域であるところから、とくに極めて重要な関係におかれていることは当然である。一方培地に含まれる塩分が、一般的にいて、そこに生育する植物の生長に、多かれ少なかれ、阻害的に働くことについては、すでに Pfeffer によって指摘され、爾来、数おおくの研究がおこなわれ、近くは、岩城<sup>(78)</sup>、米田<sup>(79)</sup>、下瀬<sup>(80)</sup>などによって、一般作物についての土壤中の塩分量と作物の生育障害との関係についての見るべき結果が発表されている。

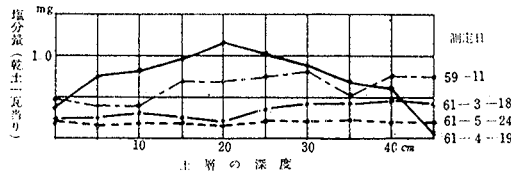
ところで、筆者は、たとえそこにアカマツないしはクロマツが生立をゆるされるにしても、含塩量の少い土壤においてみられるような生育が、含塩量の多い土壤——とくに、植物の生育にとって主導的役割を果している畝



5-a, 長崎地区〔B〕 0m点



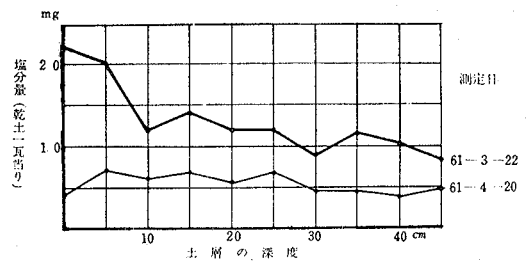
5-b, 長崎地区〔B〕 30m点



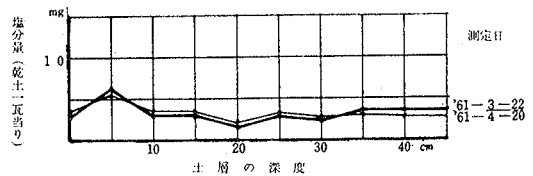
5-c, 長崎地区〔B〕 70m点

第5図 各測定点における測定日別、土壤塩分の垂直分布

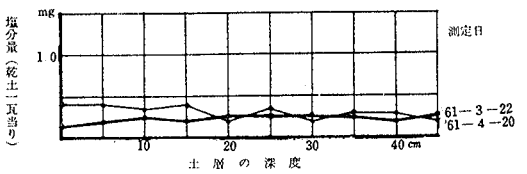
註：〔 〕内の文字は13図の測定地に相当する (第5～9図共通)



6-a, クロマツ地区〔C〕 0m点

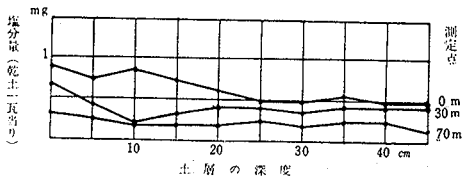


6-b, クロマツ地区〔C〕 30m点



6-c, クロマツ地区〔C〕 70m点

第6図 各測定点における測定日別、土壤塩分の垂直分布



第7図 アオマツ、クロマツ混生地区〔D〕における測定点別、土壤塩分の垂直分布

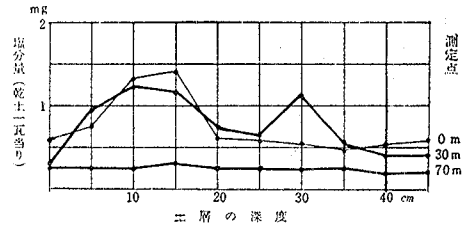


収根の多くが分布する地層において、多量の高塩が分布しているような土壌——にあっては、望みがたいであろうことを推定し、このような関係をも含めて、海岸地帯におけるアカマツないしクロマツ林の自然成立の問題を検討する重大な一側面として、高塩の海岸林土壌における垂直的分布を検定することとした。測定地点は、水平的分布の調査をおこなった測定地点と同一地点とし、とくに幼植物の主根が主として分布するであろうと思われる地層を中心に、測定を実施することとした。

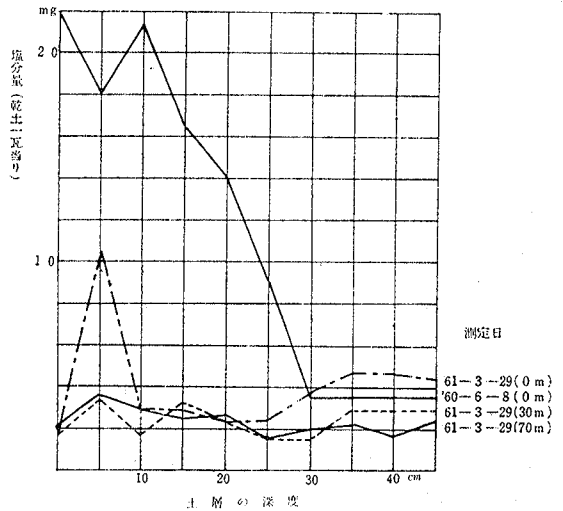
幼植物の主根の分布する深さについては、宮崎<sup>(81)</sup>が、四国各地の森林植生を調査した結果から、とくにアカマツ、クロマツの根系については、種子が発芽すると、ただちに土壌中に直根を長く伸ばし、しかるのち、側根を生じる。この側根は他の樹種と異なり、その数は少ないが第1年目から礫質土壌中に長く直根をのぼし、そのため含水率、わづかに10%内外の、しかも腐植の乏しい礫土や、あるいは砂土のような瘠悪な土壌にもよく生育しうることを明らかにした。筆者も、現地における多くの観測において、瘠悪乾燥地に立つアカマツ当年生稚樹は、側根を土壌の表層からおよそ5cm前後までのところでわづかに出し、これに対し、直根は約15cm前後に伸長しているものが多いことをしばしば実見した。もっとも、植物の根系の発達については、種々の条件が関与し、その環境条件に適応するようなかたちをとるものと考えられる。かつて、河田<sup>(82)</sup>が、マツ苗の根系の発達についてしらべた結果、砂丘地に天然に立つものは、内陸の苗圃で養成された1年生播種床苗の根系にくらべて、直根が長く発達することを指摘したように、たとえ、同一樹種でもそのおかれる環境によって根系の分布、発達のかたちは相当ひろい範囲で変化する。<sup>(83-84)</sup>

上述のような関係からして、幼稚樹の生育にもっとも重大な関係をもつ土層の深さを決めることさえも、実際には、きわめて困難な問題を含むものではあるが、いま、垂直的分布を測定するにあたって、差しあたり、ごく概括的にみて、測定すべき土層の深さを、一応、地表から20~50cmまでの範囲とし、特別の地点については、100cmまでとることとした。測定には、水平的分布の測定に用いた採土缶と同一のものをを用い、表層(0cm)(これは水平的分布を測定した際のものを用いた)から10cm間隔(測定地によっては、とくに5cm間隔、あるいは20cm間隔とした)に、十分に広く掘り下げた採土溝の側面に採土缶を押し込むようにして、土壌を缶に充填し、しづかに缶を抜き取って蓋をし、実験室にもちかえり、水平的分布の測定におけると同様の操作によって、乾土1gあたりの塩分量を算出し、第5~9図の結果をえた。

以上の結果からみると、各測定地点で、その塩分の垂直的分布のかたちは、水平的分布の場合と同様、測定の時期によって、きわめて区々たる結果となった。しかし、たとえそれが同一の測定地点についての測定値であっても、その示す垂直分布の傾向というものは必ずしも一定しているものではなく、たとえば、長崎地区0測定地点で、それが代表されるように、1961-3-18の測定では、地表部に高塩の分布が少なく、下層に下るにつれて、次第に多くなっているのに対し、1961-4-19の測定では、これと反対に表層に多く、下層部に向って減少する傾向を示した。(第5図a参照) 同様な結果は、他のいづれの測定点においても多かれ少かれ見られるところであって、高塩の土壌中における垂直分布もまた、水平的分布ですでに指摘したように、測定の時期によって、そ



第8図 アカマツ地区〔E〕における測定点別、土壌塩分の垂直分布



第9図 志度地区における測定日別、土壌塩分の垂直分布

の分布形態を異にするという点は、各測点に共通した特性であることが明らかにされた。

さらに、この海塩の垂直分布について、一連の層のうちでの、上層および下層における塩分量の増減の巾(振巾)は、同一系列の測定点(汀線から直角に内陸に向かってとった一直線上の2~3個の測定点)についてみると、一般に、汀線に近い測定地点でもっとも大きく、内陸に向うにしたがって小さくなる。

この事実は、水平的分布において確かめた傾向と、一見、似かよった性質をもつものではあるが、この場合、その示す振巾の大小は、林木の自然成立を規制するというよりも、むしろ林木の正常生育を規制する重大な要因となるものと考えられる。

## 第8節 土層模型による実験

前節において、現地の海岸土壌を対象とし、その中に含まれる海塩の垂直分布を検討した結果、土壌中の海塩の垂直分布は、その観測の時期を異にすると、たとえ同一の地点でも、いちじるしくそのかたちが異ってくる事実についてあきらかにしたが、その原因を究明するべく、土層の模型による実験をおこなった。

### 1 実験方法

まず、土層の模型として、内径5cm、高さ5cmのガラス円筒を積み重ね、個々のガラス円筒の接触部はビニールテープで入念にはり合せ、漏水を完全に防止するようにし、このあらかじめ継ぎ合せた円柱に、日本土壤学会の規定<sup>(85)</sup>にほぼ準拠して配合した砂土(9:1)、壤土(105:45)および埴土(1:1)をできるだけ均等になるように充填し、以下に述べるそれぞれの実験に供した。〔ここで、( )内は砂:粘土(量)を示す〕

充填に用いた土壌素材は、それぞれ、粘土は本学大宮農場附近の道路工事のために、新しく切り取った山地斜面の安山岩系の粘土を、また、砂は春日川上流地点(木田郡三木町)で採取したものをを用いた。

なお、これら素材として用いた粘土、砂および注加に用いた蒸溜水の塩分含量は、21表に示す通りであった。

試験区の区分については、現実の林地に海塩が供給され、それが雨水などによって影響される状況を想定すると同時に、一方においては、土層の下部から海水が滲透してきて、それが次第に土層の表層部に上昇してくる状況、あるいは、これらの海塩が地下水などによって持ち去られる場面などを考慮して、模型の土層に与えるNaCl溶液と蒸溜水の注加方式を、つぎの4つにした。すなわち、

第21表 使用材料の塩分量

材 料	NaCl (mg)
粘 土	0.35 /g (乾土)
砂	0.12 "
蒸 溜 水	0.058/20ml

- (1) 上層から塩水を注加する。
  - (2) 下層から塩水を吸引させる。
  - (3) 上層から塩水を注加し、さらに下層から純水を吸引させる。
  - (4) 上層から塩水を注加し、さらにその上に純水を注加する。
- である。

以上4種の処理方法を、砂土、壤土、埴土についてそれぞれおこなった。この場合、注加ないし吸引にもちいた塩水は、0.1N NaCl溶液であり、ガラス円筒の積み重ね数は、すべて11個とし、最上部の1個には土を充填せず、ここに塩水を適宜に注入することとした。円柱の最下端は、分折用濾紙をあて、その外側をガーゼでつつみ、土砂の流出を防いだ。もっとも、この濾紙の使用によって浸透水の流れが乱れる結果、円筒内の塩分分布が乱れるので、これを除いた対照実験をも併せておこなった。

下層からの吸水は、大形シャーレに所定の塩水、あるいは蒸溜水を入れ、これに土柱を立てて吸いあげさせることとした。なお、注水によって、滲出してきた余剰水は、すべて大形シャーレに受けるようにした。

このようにして処理を終った土柱は、約72時間放置後、ビニールテープをはずして、接合部をすり合わせるようにしながら個々の円筒に分離し、その切断面の中心部の土壌を双方の断面からほぼ等しい量(約30g)だけ取りだし、これを電熱乾燥機を用い、105°Cで十分に乾燥し、乾土20gを正しく秤取して、蒸溜水200mlで十分に振り洗いをおこない、この洗滌液を濾過し、濾液20mlについてMohr法により塩分量を測定した。

2 実験結果と考察

a. 埴 土

(1) 上層から塩水を注加した場合。

一時に相当多量の注水がおこなわれた場合、土壌が緊密なため、塩水は暫時湛水の状態を呈し、注加水の各層への浸潤がきわめて不均等になり、注水中の塩分は、土層の表層に近く集中する傾向を示す。(第10図aの①参照)。

これに対し、土層表面に注加水が湛水しないように注水の量を適当に調節しながら滴下した場合、注水が比較的均等に各層に浸潤し、注水中の塩分は概ね各層に均等に分布する。(第10図aの②参照)

(2) 下層から塩水を吸引した場合。

いわゆる毛管現象によって、上層まで塩水が到達するわけで、この場合、土柱の高さと吸水時間とが問題となる。しかしてこの毛管水の上昇現象については、すでに Zunker などによって、すぐれた研究が行われているが、要するに、土壌粒子の表面を被膜状に覆っている附着水が凸形をなし正圧であるのに対して、毛管水はその間にあって凹形をとり、負圧となる。したがって、附着水の層が薄いほど、凹面の曲率半径が小さくなるため負圧は大きくなり、毛管現象が強くあらわれるものと考えられる。砂の毛管水の上昇高については、毛管の半径  $r$  のとき、理論的に次式が与えられる<sup>(86)</sup>。

$$H_e = 3 \left( \frac{2\alpha}{\rho g} \right) \frac{1-P}{p} \cdot \frac{1}{d_w} \quad (\text{cm})$$

但し

$d_w$  : 有効直径

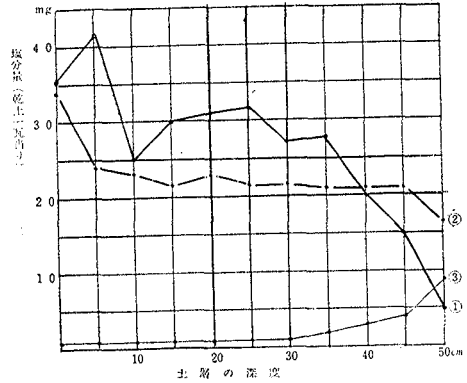
$p$  : 間隙率

$\alpha$  : 表面張力

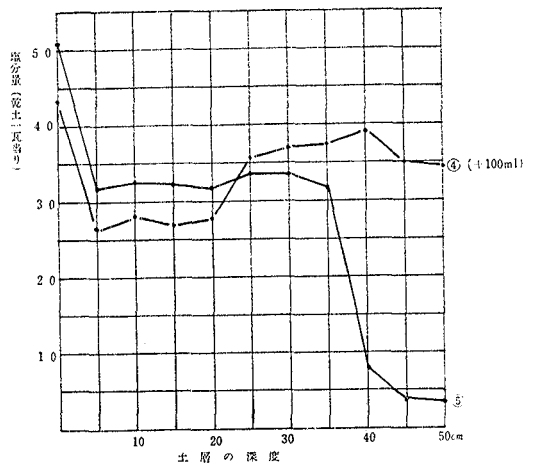
$\rho$  : 単位容積の水の質量

$g$  : 重力の加速度

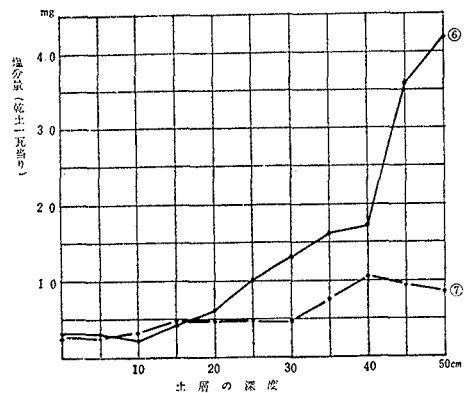
$\frac{2\alpha}{\rho g} = a_0^2$  : 温度に関する毛管常数



10-a, 上層から塩水を与えた場合



10-b, 下層から塩水を吸引した場合と、上層から塩水、下層から純水を与えた場合



10-c, 上層から塩水と純水を与えた場合

第10図 埴土の各処理別塩分分布

註：給水処理法

- ① ..... 塩水100ml注水 (湛水)
- ③ ..... 純水300ml滴下
- ⑤ ..... 塩水300ml注水 (湛水), 純水200ml吸引
- ⑦ ..... 0.1N塩水300ml滴下, 純水250ml滴下

- ② ..... 0.1N塩水300ml滴下
  - ④ ..... 塩水300ml吸引
  - ⑥ ..... 塩水300ml注水 (湛水), 純水300ml注水 (湛水)
- (第10~12図共通)

したがって、実際毛管現象により上昇する毛管水の高さは、土粒の粒径、形状、鉱物組成および粒子の配列状態、液体の性質、および温度などの諸条件によって、大きく影響される。

すなわち、杉ら<sup>(87)</sup>が、秋葉式毛管高測定器<sup>(88)</sup>によって、とくに塩田用砂につき、毛管水の上昇高をしらべた結果によれば、第22表の通りであって、粒径の小さいほど、また同一の粒径では、充填の密なものが高い上昇値を示す。

第22表 充填法と毛管水の上昇高の関係  
(杉ら<sup>(87)</sup>による)

粒 径	充填法	粗	密
	0.126 mm		36.2cm
0.197		26.0	27.4
0.371		6.4	10.4

なお、この場合、実験の結果からみて、土壌粒子の小さなものほど充填の状態を同一にすることが困難であるといえるようである。

また、水温と毛管水上昇高の関係については、低温の場合、高温より一般に上昇高は高い値を示し、杉ら<sup>(87)</sup>によれば、淡水を用い、その温度を5, 12, 20, 30, 40, 50°Cとした場合、一例をとれば、上昇高は、それぞれ43.3, 42.0, 39.6, 36.2, 33.4, 30.4cmであったという。もっとも、この水温の差による上昇高の変化は、その用いる土質によって異なる。さらに古くは、KeenやHilgardが毛管水の上昇と土壌の種類との関係について示した<sup>(89)</sup>ように、埴土においては、塩水が土層表面に到達するまでに要する時間は、砂土および埴土に比較して、きわめて長時間を要するが、本実験において規定した土柱の高さと時間の範囲で、土層の上層まで十分に塩水が浸潤し、塩分もそれにとまって上層まで分布したものと考える。(第10図bの④参照)

(3) 上層から塩水を注加し(湛水式)、ひきつづき蒸溜水を下層から吸引した場合。

この場合、(1)においてみられた塩分分布から、その下層部に分布する塩分が、蒸溜水の上昇によって洗除され、さなきだに少い下層部の着塩量を、さらに減少せしめるものの如く、下層部の塩分減少の傾向が、(1)においてみられたよりさらに強くあらわれた。(第10図bの⑤参照)

(4) 上層から塩水を注加し、さらに純水を注加した場合(湛水式)

このような第二次注水が、一次注水によって与えられた塩分の分布のかたちによつてどのような変化を与えるものかについてみるに、第一次の塩水注加によって示した塩分分布形、すなわち、上層に塩分が多く、下層に少い分布のかたちが、第二次注水(この場合、第二次注水には、蒸溜水300mlを用いた)によって、いちじるしく変形し、上層にはきわめて少く、逆に下層に多くの塩分が分布するかたちをとった(第10図Cの⑥参照)これは、第二次注水による純水によって、土壌中の塩分がよく洗除される事実を示すものとする。

さらに、滴下式(一次注水に0.1N NaCl溶液300ml、二次注水に蒸溜水250mlを用いた)の場合、下層の塩分分布量が、より少くなった。すなわち、この事から、一応、滴下式の方が湛水式注水法よりも、より強い塩分洗除効果をもつことが指摘できよう。(第10図cの⑦参照)

## b. 砂 土

(1) 上層から塩水を注加した場合

この場合、埴土と異なり、注水は湛水状態を示さず、ほとんど注水と同時に下層に浸潤してゆき、その塩分分布は各層ほぼ等しい塩分量を示すかたちをとり(第11図aの①参照)埴土湛水の場合(第10図aの①)とくらべ、その塩分分布の傾向には相当のちがいがみとめられるが、同じ埴土でも、湛水状態とせず、滴下注水によつた場合(第10図aの②)の均等な塩水の浸潤にとまってみられた塩分分布形とは、やや似た傾向を示した。

さらに、砂土について滴下注水処理をおこなった結果(第11図aの②参照)は、上述の一時に多量の塩水を注加した場合と、傾向においてほぼ等しい分布形となり、砂土の場合には、一時に多量の注水がおこなわれても湛水状態になりにくく、したがって、土層の攪乱はすくなく、その結果、塩分分布のかたちが比較的安定したかたちをとるもののように見受けられる。ただ、土壌に保持される塩分量——土壌に対する着塩量——は、注水のしかた、すなわち、塩分を含む水が一時に多量に土壌に与えられるか、あるいは、少量づつ徐々に与えられるかによって、各層のあいだに、多少、差異が生ずるものようである。

土層の表面にそそがれた水が、その土層に滲透する場合、水の滲透する速度は、杉ら<sup>(90)</sup>が塩田砂を用い、秋葉式滲透数測定器によって種々の実験をおこなった結果からみると、注水の初期には土層中に存在する空気を排

除しつつ通水がおこなわれるので、その空気の抵抗のために時間がかかり不安定であるが、次第に一定値に近づき、かつ速度を増す。さらに、土層中の空気の排除が悪い場合についてみると、その速度は時間の経過とともに低下する。しかし、このような傾向は、粒径が小さくなるほど一層助長されるものである。これに対し、田町<sup>(91)</sup>は、原野の土壌をもちい、通水の速度が次第に減少する結果をえ、これは非毛管孔隙を通過する水が透水のため土粒子の配列を変え、その孔隙をせばめるためであるとした。

本実験においては、この問題についての厳密な測定はおこなわなかったが、注水の流下の時間的経過をおおよそメモしてみたところによると、湛水式注水の場合、一つの土層内でも流下に遅速が入りまじり、一定の方向を示さなかったが、しかし極く概括的にみれば、注水の初期において早く、時間の経過にもなって、渗透速度を減ずる傾向があり、ある層においては土粒の配列の乱れるのが観察された。これに対し、滴下式注水の場合は、杉ら<sup>(90)</sup>の結果を想定せしめる傾向のあることを認めた。すなわち、土層中の空気の排除量にほぼ見合うところの注水がおこなわれる場合、とくに、注水されても容易には土粒の配列が攪乱されない程度に土粒が比較的大きい場合には、実際にも、杉らが想定するように、注水の渗透速度は土層中の空気の排除と直接関聯をもつものと思われる。しかし、一定限度以下に土粒が小さくなり、注水によって容易にその土粒配列が乱されうる条件が加わる場合には、この条件が大きな影響をもつと考えられるから、このような条件下では、むしろ田町<sup>(91)</sup>の示すような結果となるものとする。

いづれにしても、本実験を通じて観察した結果は、海水は純水よりもその渗透速度が低く、また、埴土は砂土よりも、湛水式注水は滴下式注水よりいちじるしく渗透速度が低かった。さらに、湛水式注水においては、往々土粒の配列の攪乱がみられた。

実験当初、このような流下の速度の変化によって、各層に対する着塩量に大きな変化が生ずるのではないかと予想したが、本実験の範囲ではそのような事実は確認されなかった。

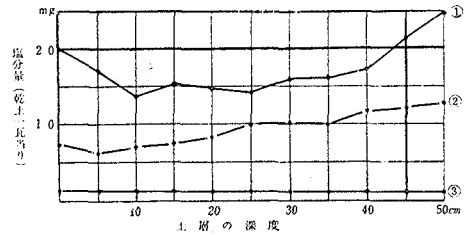
(2) 下層から塩水を吸引した場合。

その塩分分布は埴土の場合にくらべ、対照的なかたちを示し、下層に比較的多くの塩分が分布し、上層に昇るにしたがって塩分量が初めは急に、その後はゆるやかに減少する。

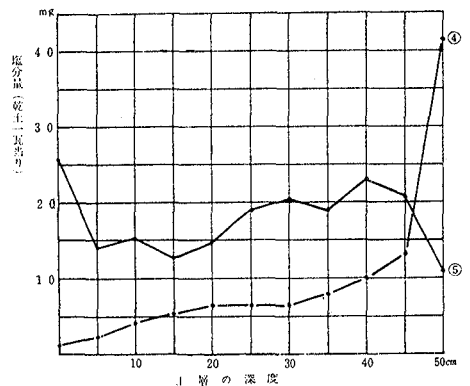
これは、すでに触れたように、杉ら<sup>(87)</sup>の毛管上昇の実験でえた、毛管水の上昇のdataから類推して、この場合、筆者がとった程度の時間(約35日間)内では、毛管水が理論的に到達しうる高さまで上昇できないため、一応上層まで水分が浸潤はしていても、それはおそらく平衡状態を得るまでにはほど遠い、きわめて限られた水分量でしかなく、したがって、それに伴う着塩量も少なかったのではあるまいかと思う。

大杉<sup>(92)</sup>によれば、土柱を水中に直立して、水を吸引させた場合、下部の水柱内にある土壌は最大容量にあたる水を含むが、上層の土は最小容量に相当する水しか含まない、したがって、その水量はその土層上の位置によって異なるという。

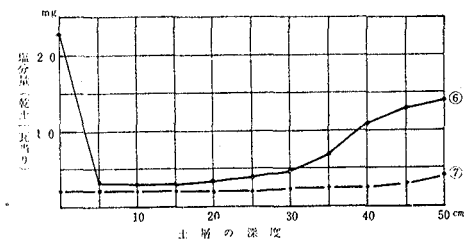
Keen<sup>(89)</sup>は、理想的な土の理論上の毛管上昇の高さを計算して、細礫で $\frac{1}{2}$ 呎、粗砂で $1\frac{1}{2}$ 呎、細砂で $7\frac{1}{2}$ 呎、



11-a 上層から塩水を与えた場合



11-b 下層から塩水を吸引した場合と、上層から塩水、下層から純水を与えた場合



11-c 上層から塩水と純水を与えた場合

第11図 砂土の各処理別塩分分布

微砂で31¼呎、細微砂(0.01~0.02mmの粒径)で150呎、粘土で150呎以上なる値を示した。もっとも、このような上昇距離を実際に見ることは自然状態の下では勿論、実験室においてもほとんど不可能ではあるとしても、本実験において認められた砂土および埴土の着塩量の対照的な結果が、この毛管水の上昇度および土壌のもつ、水分ないし塩分などに対する吸着性などに由来するであろうことは、ほとんど間違いないであろう。杉ら<sup>(93)</sup>が塩田における着塩について研究し、媒砂式塩田(従来入浜式塩田と称していたもの)における媒砂えの着塩量は、撒砂の粒径の小さいほど多い結果をえた事実からみても、この辺の事情が想像されうるものと思う。

もっとも、杉らは媒砂えの着塩は、単に砂面蒸発が多いときに多くなるものとはいえず、着塩は表面の水量があまりに多すぎる場合、かえって塩分が地盤内に散逸してしまう結果、少なくなってしまう事実をもつきとめているのであって、この場合の塩分分布のかたちには土柱を構成する土壌の粒径その他各種の条件が複雑に絡みあってくるものと推測する。

なお、これに関連して、本実験においては全区を通じて検討はしていないが、土壌表面よりの蒸発がある場合の土層内部における塩分の動きの問題がある。しかし、この問題は実際の海岸林では、きわめて重要な問題であろう。いま、専売公社塩研究部<sup>(94)</sup>によれば、塩田砂を用いガラス円筒で塩水を毛管上昇させ、その水分を砂の表面からDryerで蒸発せしめた場合における、砂層各部の含塩量は第23表の通りである。すなわち、この場合、

第23表 砂層毛管水帯中のCl<sup>-</sup>-ionの分布移動  
(専売公社塩研究部<sup>(94)</sup>による)

層位 (cm)	水分100gに対するCl <sup>-</sup> g数(%)	
	蒸発直後	1時間放置後
10.0	3.8185	2.1356
9.5	2.6617	2.2169
9.0	2.0745	2.1739
8.5	2.0548	2.0193
8.0	1.8445	1.7800
7.0	1.7752	1.8422
6.0	1.7462	1.7348
5.0	1.7331	1.7383
4.0	1.7565	1.7383
3.0	1.7383	1.7417
2.0	1.7383	1.7170
1.0	1.7354	—
地下水下 -2.0	1.7286	1.7166
地下水	1.7225	1.7147

但し

- 蒸発量 = 6 mm
- 蒸発時間 = 1時間45分ドライヤー
- NH<sub>4</sub>Cl飽和溶液入デシケーター中1時間放置
- 使用人工塩水 = C1% 1,7225
- 地下水位 = 10cm

たものとはいえず、そのため、塩水が注加されたことによって(この場合、ごくわずかの時間ではあるが、一旦満水状態になる)土層の表面近い部分がとくに攪乱され、このとき、たまたまそこに存在した有機物の一部が表面に集積し、これが塩分を吸着した結果、多量の塩分が分布したかたちになったものと推定する。このことは、ひき続いておこなった滴下式による同様の実験においては、注水による土層の攪乱がおこらないような速度で給水をおこなったため、表層の着塩量とその近辺の土層の着塩量とは、互に近似的な値をとったことから、この辺の事情が推測しうるものと考えられる。(第11図cの⑦参照)

さて、第二次注水の着塩に対する洗除作用については、この場合、もともと各層ともその着塩量が埴土にくら

砂の表面で、Cl<sup>-</sup>はいちじるしく蓄積される反面、含水量は表面近くで急激に減少する。

そのため、この水量に対して溶解しているCl<sup>-</sup>量は、海水のCl<sup>-</sup>量にくらべ、4~10倍に達し、甚だしい場合には、20倍近くにもなる。

ただ、この濃度はごく表面にのみ限られ、表面下2~3cmでは、すでに2~3倍の濃度であり、6~7cm下れば海水とほとんど変りない濃度となる。

(3) 上層から塩水を注加し、土層に塩水が充分浸潤したのちに、下層から蒸溜水を吸引した場合。

下層から吸引された純水による海塩の洗除の効果は、第11図bの④の塩水吸引の場合にみられるカーブに近いかたちで現われるものと思われる。つまり、この場合における塩分分布の状態は、第11図aの①と、第11図bの④の塩水注加の場合のグラフの合成によってえられるかたちに近いもの(第11図bの⑤のカーブ)となった。

(4) 上層から塩水を注加し、さらに純水を注加した場合。

土層の塩分分布は第11図cの⑥に示す結果となった。表中0cm区は土壌表面の着塩量を示すが、この場合、とくに多量の着塩が表層においてみられた原因について考えるに、使用した砂土は、完全に有機物を除去し

べて少いので、顕著な洗除作用が、一見無いように見受けられるが、しかし、とくに表層に近い部分から中層にかけては、相当な洗除作用がみられる。また下層の部分では着塩量が一見多くなるように見えるのは、この部分が受け皿に集った透過塩水の影響をうけていることに由来するものと考えられるので、この部分については見掛け上洗除効果がでていないだけに過ぎないものとする。

杉ら<sup>(95)</sup>など<sup>(94)</sup>が、塩田について観察した結果、砂表面の着塩が降雨によって、よく洗除される事実を指摘し、その着塩はわづか3mmの降雨でさえ全くよく溶けて、下層まで滲透していることを確かめたが、この土層模型による実験においても、水の着塩に対する洗除効果については、これらの観察とよく符合する。

c. 壤 土

壤土における各処理区の結果は、概括的にみて、埴土および砂土においてみられた実験結果のほぼ中間的な値と分布傾向を示した。(第12図a~c, 参照)

なお、参考として、埴土、砂土、壤土それぞれについて、蒸溜水のみを滴下し、その土壌各層に対する塩分の分布状態もしらべた。

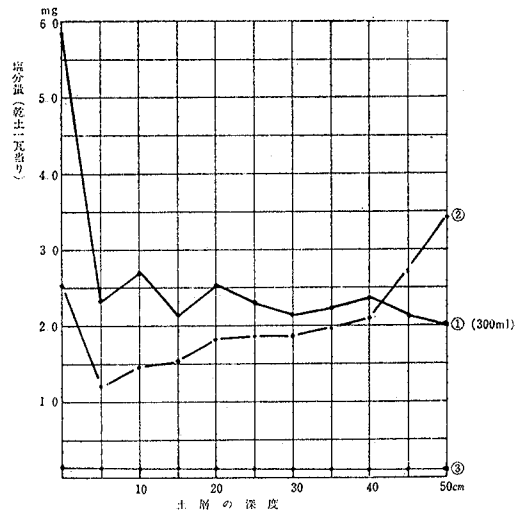
3 総 括

土層模型による以上の実験から、土質、塩分の供給のかたち、およびその洗除のされかた、さらに、表層からの水によって塩分が洗除作用を受ける場合、その水の与えられかた、すなわち、滴下式か灌水式かなどによって、その土層の塩分分布のかたちはほぼ一定の傾向をとるものようであり、同時に土層中の塩分は水によってきわめてよく洗除され、また水に溶存する塩分は、その溶液の移動ともなって、土層中をよく移動することが確かめられた。とくに上層からの水による塩分の洗除効果はあらゆる場合を通じてもっとも顕著であった。しかし、このことは、他の研究からも否定されるところである。すなわち、いま東北電力K. K. 東新潟変電所<sup>(96)</sup>で積雪層別に含塩量を測定した結果についてみると、下層の雪ほど融雪による水分で、雪中の塩分が洗脱をうけることが多く、そのために層別含塩量は下層で低く上層ほど高い値をとる。

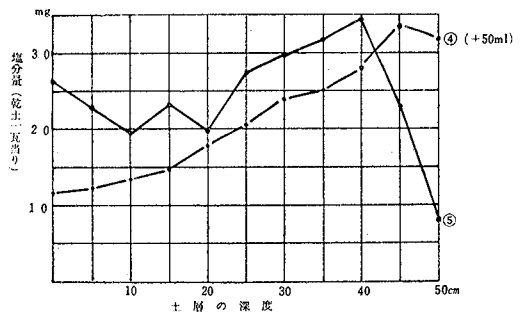
また、同所<sup>(96)</sup>が、木板上に降雪を受け、これについて層別に含塩量を測定した結果からも、雪中の塩分はごく微量の水分で洗除されることを推定しうる。

すなわち、これらの実験に徴しても、塩分は極わめてわづかの水分、とくに流下水によってよく洗除されうるものであることがわかり、同時に、塩分分布と水分の移動との間にはきわめて密接な関係の存在することも理解される。

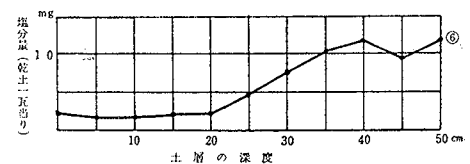
いづれにしても、このような特性なり傾向が明確になるならば、これを尺度として、特定の現地の土質を知れば、その地点における一時期に関して、土壌の層別着塩量、すなわち土層層についての塩分分布のかたちを推定することができるはずである。即ちその地点の林地土壌が主として受ける塩分供給のかたち——地表の着塩が主体となっているか、あるいは、海水の侵入または塩分を



12-a 上層から塩水を与えた場合



12-b 下層から塩水を吸引した場合と、上層から塩水、下層から純水を与えた場合



12-c 上層から塩水と純水を与えた場合

第12図 壤土の各処理別塩分分布

含む地下水によってその土壤が着塩しているかなど——と、その洗除のかたち、すなわち降雨が洗脱の主体となるのか、あるいは地下水がその洗除作用の主導的役割を果しているのか、あるいはまた溜水、地表流水などが洗脱の主因となっているかなどについて、おおよその目安がつけられるならば、その地点における土壤に含まれる塩分の垂直的分布のかたちをおおよそ推定することができるであろう。

ところで、土壤の各層における付着塩分はすでに述べたように、きわめて可動的であり、その検出される塩分量は、一定地点においてさえ現実には一定していない。それゆえ、特定の地点の塩分量を単に一時期についてだけ測定しただけの結果を、何の考慮もなしに、その地点の植生の問題にあてはめて論議することは、おそらく大きな誤謬をおこす基となるであろう。すなわち、このような見地から、もしあらかじめ林地に対する塩分の供給のかたちと、その洗除作用をもたらす主体となるべき給水のかたちを知ることによって、その土層内の塩分の分布のありさまが推測できるような尺度が得られているならば、このような植生の問題を検討する場合、現実の林地について、塩分分布を調査するにしても、主として、その地点に対する塩分搬入の主体となるかたち、および水分供給の主体となるかたちの2点についてだけ充分な観測をおこなうだけで、その地点における土壤各層の塩分分布のかたちを、おおむね推定することが可能となるであろう。

もっとも、実際の土壤層内での水分の動きについては、土層模型による実験において主としてみられる、垂直方向の水分移動だけではなく、さらに水平方向への移動が加わってくるので、このモデル実験によるデータとは多少異ったかたちを当然とるであろうが、しかし基本的には大きな傾向の変動をもたらすとは考えられない。

したがって、模型実験による基礎的なdataについて、このような立場における応用の可能性は、充分に見透しうるものと思う。

ただ、本実験は未だこのような意味における応用への基礎dataとしては不十分であるが、この実験を通して、その応用への可能性を見出しえた。なお、この実験についてはさらに実験を重ね、この目的に対して充分に応じうるように、より完全なものにする計画である。

## 第9節 マツ針葉に対する着塩量

### 1 枝葉部への着塩

海岸に植栽されている樹木は、しばしばひどい塩害を被るが、一概に塩害といっても、その実際のあらわれ方はきわめて区々であって、すべてを同日に論ずるわけにはゆかない。植物が塩害をひきおこす場合、塩分の在り方によって、高橋は地中塩分によるものと、大気中の塩分に由来するものとに分けた。

いま、高橋<sup>(97)</sup>のいう、大気中の塩分によってひきおこされる塩害についてだけ考えても、その被害のかたちはいろいろであって、植物がつねに含塩度の高い空気さらされている結果としてひきおこされる慢性的な諸種の被害現象と、一時的に、とくに高濃度に塩分を含む空気、あるいは時に台風時におけるように、植物が直接、塩分をとかし込んでいる海水飛沫に見舞われたためにひきおこす急性的塩害現象などが考えられる。

元来、植物の塩害に関しては、その生起する根本原因についての見解がいろいろあり、現在のところ、必ずしもそれらの意見が一致しているわけではなく、平田<sup>(98)</sup>は、澎湖島における観察結果から、台風の来襲によって、農作物が塩害を被る原因は、主として海水泡沫が農作物に飛散するためであるとし、高橋は<sup>(99)</sup>、烈風後の海岸地植物の調査結果から、風当りのはげしかったと推察される枝や梢端部の葉が枯れているのは、塩分による害というよりは、むしろ、はげしい空気の移動のために、蒸散作用および純然たる蒸発作用が極度に昂進し、下部からの水分補給の均衡がやぶれ、萎縮、乾燥、枯死したとみるのが至当であろうと推定し、そのうら付けのために、通風乾燥器を用い実験した結果、1 m/secないし10 m/sec程度の風では、対塩性の強い海岸性マツは、食塩水の塗布如何が決定的な要素とはならず、むしろ風速および乾燥器内におかれている時間の長短によって、種々の被害状態がおこる。しかし、耐塩性のよわい植物では、いささかその様相を異にするのであって、同じ条件下の実験でも食塩水の塗布が、その結果に大きな関係をもったという。さらに、Lundegårdh<sup>(100)</sup>は、Swedenの海岸では、風の乾燥作用は冬に最大であり、同時に林冠は冬、落葉によって空くので、林冠内での風速は、夏よりも冬の方が大きく、とくに海風によりもたらされる塩分の害作用が、害作用の主体となるとは考えられぬという。また、大後<sup>(101)</sup>は、イネの塩害について実験した結果、塩水を噴霧する回数と、その後の日照とが、イネの塩害発生に関連し、塩風と塩雨が、イネの葉に被害を与えているとしている。



いづれにしても、これら諸種の見解を総合して、海岸地帯の特異的な気象条件……(a) とくにつよい風がしばしば吹統する。(b) 空気中の塩分量が、きわめて多い。など……が、この地帯の植物の成育に、多かれ少かれ影響を与えていることは確かなようである。

しかして、このような植物に対する影響のうちには、当然、内陸に搬入された塩分が、直接植物の葉に少量に付着することによって、そこに塩害が生ずるのであろうという想定をも包含しているものと考ええる。すなわち、筆者は、このような見地から、アカマツおよびクロマツの耐塩性を検討するための一資料として、マツ針葉に対する着塩量の測定をおこなった。

2 塩分の付着量

海から内陸に搬入される塩分の量は、すでに触れたように、多くの人達によって測定されているし、それが物体に付着する点についても多くの観測がなされている。

北田および宮本<sup>(102)</sup>が、送電線碍子に対する塩分付着量を、台風時について測定した結果は、第24表に示す如くであった。また、多田<sup>(103)</sup>

第24表 台風時における海岸からの距離と付着塩分量  
(北田、宮本<sup>(102)</sup>による)

海岸からの距離 (m)	30	100	1,000	10,000
塩分の附着密度 (mg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.265	0.21	0.186
塩分付着量 (mg/碍子1個)	370	340	310	275

は、昭和35年8月29日朝から同30日にかけて、海風が5~10m/sec連吹し、最大風速15m/secの条件下で、送電線碍子の付着塩分量を実測したところ、最大70mg/total surfaceで、安全に

送電するための許容量を超える付着塩分量を検出した。すなわち、これらの結果からみて、海から内陸に向って搬入される塩分が物体に付着する量は、相当多量なものであると想定することができるし、またすでに触れたように、この塩分付着量は、海岸からの距離によって変り、それは一般に、海岸に近い地点から内陸に向って次第に少くなるものようである。さらに、この塩分付着量にはその地点の地形によっていちじるしい差異がみとめられる。

北田、宮本<sup>(102)</sup>は、海岸から内陸への距離と、塩分付着量との関係について測定し、第25表の結果をえた。

第25表 海岸からの距離と付着塩分量のわりあい (北田、宮本<sup>(102)</sup>による)

海岸よりの距離 (m)	250	300	400	600	900	1,200	1,500
塩分附着量 (比)	1.2	1.0	0.3	0.1	0.07	0.06	0.05

このような関係は、単に実験数値からだけではなく、実際に植生の調査からも推測される。すなわち、高橋<sup>(104)</sup>は、昭和12年9月11日の台風によってひきおこされた塩害を調査し、イネについては、塩害による枯死数は海岸に近いほど多く、遠くなるにつれて少なくなったという。

ところで、いま一定点に限って、その塩分付着量を検討するに、一地点に対して搬入される塩分の量は、とくにその時の気象条件、なかでも、風と降水の条件がもっとも大きく効いているようである。

三瓶<sup>(105)</sup>は、送電線碍子に対する塩分付着量について、昭和25年から同31年までの間における21回の調査結果から、送電碍子に対する塩分付着量は次式のとおりでとした。

$$\text{碍子えの塩分付着量} = S \int_0^T K \cdot C \cdot V \cdot dt$$

- 但し、 S : 碍子の断面積
- C : 空気単位体積中の塩分量
- V : 碍子にあたる風速
- K : 付着効率で、湿度や雨の状態で変る

さらに北田・宮本<sup>(102)</sup>らは、一地点における着塩量は、海岸線と海上より吹走してくる風向とのなす角度、吹走してくる気流中の塩分量とに関係があるとして、

$$m = K \rho \tau v \sin \theta$$

但し、 $m$ ：一地点における着塩量

$K$ ：常数であるが、台風の場合には3.5、低気圧や季節風の場合には1.4ぐらいが適当

$\tau$ ：風の吹続時間

$v$ ：風速（近似的には時間内の平均値）

$\theta$ ：海岸線と海上を吹走している風向とのなす角度

$\rho$ ：気流中の塩分量（ $v$ に比例する）

なる実験式を示している。すなわち、着塩量は風速、あるいは風速と風向に密接な関係をもつ。さらに、碇子表面の状態によってもその着塩量が異なり、表面が、適当に湿っている場合は、全く乾いている場合よりも、よく着塩するらしく、また、碇子の風に向う面は、風下の面より多く着塩することが観察されている<sup>(106)</sup>が、この関係は、マツ針葉についてもおそらく同様ではないかと考えられる。

### 3 測定結果と考察

針葉表面に付着している塩分の測定には、まづ現地の各測点に立っているマツの枝葉をできるだけ塩分が落ちないように注意して採集し、小枝から針葉を5gだけハサミで切り取り、これをプラスチックに受け、蒸溜水50mlを注ぎ、充分に振り洗い（約30回振盪）したのち、約5分間静置してから、その洗滌液を20mlだけメスピペットで取り出し、Mohr法により滴定し、まづ針葉生重量5g当りの付着塩素量を求めた。

このとき、針葉の洗滌に用いた蒸溜水にもごく僅かではあるが、塩素が含まれているので、この蒸溜水についても、測定の前度その塩素量を求め、試料の滴定値から差し引き、その差額を付着塩分量とみなした。

測定点は、香川県高松市屋島地区の壮令樹を主とするマツ林（高松管林署管内、屋島25林班の一部）で、その地形は海岸線から内陸に向って、約20度の上り勾配となっている地域である。ここにA～Eまでの観測地区を設けた。（第13図参照）



第13図 着塩量の測定地および植生調査地

Aを除いた各観測地区では、それぞれ汀線および汀線に直角に30mないし70m内陸に入った部分に測定点をとった。すなわち、汀線に直面する林縁部を0とし、そこから内陸に入る距離によって、測定点を30および70と呼称し、各測点に立つ林木から枝葉を採取した。枝葉の採取については、A～E各区とも、0は樹冠の海に直面する側で、ほぼ中ごろの部分から、他の30、70、の各点のものについては、林冠の下部（地表から約2mの高さのところ）にあたる枝葉を採取した。以上の方法によってえた各測点における着塩量は、第26表の通りであった。

ところで、この場合の着塩量のあらわし方については、種々問題のあるところであるが、ここでは、一応、門田<sup>(107)</sup>にならない、その針葉のもつ表面積を概算し、針葉表面100cm<sup>2</sup>あたりの着塩量についてあ

らわすこととした。すなわち、今回の調査においては、クロマツ針葉の1g当りの表面積は、概算44cm<sup>2</sup>ほどで、アイグロマツもほぼ同じ値であり、アカマツは約97cm<sup>2</sup>であった。

なお、この調査期間中の気象条件は第27表（ただし、本表は高松市内における測定値であるため、とくに風速については、本表に示す値より現地におけるそれの方が大きいものと推察される）に示す通りである。

(a) 第26表に示す、第1回測定値（観測開始後25日目の測定）は、各測点で、明らかに着塩がみられた。このとき、対照として、海岸から最短距離で約12~13kmのところにある本学演習林（香川県大川郡長尾町字前山）にあるマツについても、同様の方法で着塩量を測定した（Cont. No. 1~3）が、ここでは

ほとんど塩分の付着はみとめられなかった。この第1回測定のもの、3日目に、日降水量33.3mmの、4日目に同じく1.3mm、5日目に0.1mm

mmの降雨（5日目の0.1mmの降雨は、前夜から夜明けまでの降雨で、日中は晴天であった）があり、この降雨直後に、第2回目の測定（観測開始後約30日目の測定）をおこなったが、この回では、各測点とも全くか、あるいは、ほとんど塩分の付着はみとめられなかった。すなわち、これは観測第28日目および29日目における降雨によって、それまで針葉表面に付着していた塩分が洗い流されたものと考えてよいであろう。（これは、主として第28日目の降雨によって洗われたものであろうが……）

付着塩分に対する降雨の雨洗作用については、北田ら<sup>(102 106)</sup>も、送電線碍子を対象とした実験結果から、日降水量が20mmを超える雨で、洗滌作用のあることをみとめているところであるが、現在までのところ、マツ針葉についての効果的な雨洗作用の現れる降水量の最低限に関してはまだきまっていない。しかし、日降水量30mm程度の降雨によってこの場合の程度の付着塩分量が、ほとんど完全に洗除されることが明らかになった。

つぎに、第3回目の測定（第2回目の測定後2日目）では、再び、ほとんど各測点で着塩がみとめられた。さらに、第4回目の測定は、第3回目の測定後11日目におこなったが、この間に、第27表に示す通り4回の降雨があり、とくに測定2日前までに0.5、20.5、および18.5mmの降雨があった（この間におそらく、付着塩分は雨洗作用をうけたものと考えられる）ので、つまり天気回復後の日数（この間に、多分塩分の付着があったものとして）は、第3回目の測定の場合とほぼ同じ。しかるに、その着塩量は相当異った値をとっている。

これは、北田ら<sup>(102 105 106)</sup>が、いのように、この間の風向および風速（とくに瞬間最大風速）の相異に由来するのではなからうか。

(b) 第28表において、第3回および第4回目の測定値とも、各測点における値こそ異なるが、同一測定期についてみると、総括的にいって、A→Eに次第に着塩量が減少している。これは地区Aが岬の突端で、Aから順次Eにむかって、高松湾の内方にとってあるため、その地形的な関係から、このように各地点に対する海塩の搬入量が異ってきているもので、湾の内方が、湾口よりもその搬入量が少いため、針葉に対する着塩量について

第26表 針葉表面の附着塩分量

地区別	測定点 〔汀線からの 距離 (m)〕	附着塩分量 (mg/100cm <sup>2</sup> )			
		第1回	第2回	第3回	第4回
A	0		0.00	0.13	0.91
B	0	3.30	0.00	0.13	1.99
	30		0.00	0.08	0.35
C	70	0.30	0.00	0.02	0.43
	0		0.00	0.02	0.80
D	30		0.00		0.43
	70	0.40	0.00	0.02	0.19
E	0		0.00		0.19
	30	○ 0.15 <sup>(1)</sup>	0.00		0.16
	70	○ 0.48 <sup>(2)</sup>	0.00		0.14
cont.	0		0.00	0.10	0.06
	30		0.01		0.08
	70		0.00	0.02	0.08
cont.	No. 1 *	0.01			
cont.	No. 2 *	0.00			
cont.	No. 3 *	0.01			

\*……… 本学演習林（海岸から最短距離で約12~13kmのところ）のアカマツ No. 1、クロマツ No. 2 及びアイマツ No. 3  
○……… 同じ測定点の附近で上方の開いている部分のもの………(1)  
と、閉叉している部分のもの………(2)

第27表 調査期間中の気象表 (高松測候所による)

観測日次	日降水量 (mm)	風速 m/sec		風向 (16方位)
		日平均 (風程)	日瞬間大	
1	17.5	1.6	5.2	N
2	22.1	2.6	8.1	WSW
3	3.3	4.4	15.3	WSW
4	—	5.5	12.1	NNE
5	—	2.0	6.0	E
6	—	3.7	11.6	WSW
7	—	4.4	11.2	WSW
8	—	4.4	12.1	W
9	—	6.5	21.6	W
10	—	2.1	5.9	NNW
11	7.6	3.6	18.0	SSW
12	—	5.8	16.8	WSW
13	—	8.6	22.8	W
14	—	2.7	10.7	ENE
15	7.6	2.4	11.6	W
16	—	5.7	13.7	NE
17	—	2.6	9.3	ENE
18	0.4	5.3	14.0	ENE
19	0.1	4.1	13.3	ESE
20	—	1.2	4.1	N
21	32.5	1.3	5.5	N
22	0.7	3.4	10.7	W
23	—	6.4	16.4	WSW
24	—	3.7	9.9	WSW
㉔	—	2.5	8.9	ESE
26	—	1.9	6.4	NNE
27	—	1.7	7.5	E
28	33.3	1.9	5.4	NNE
29	1.3	3.2	10.1	E
㉖	0.1	1.5	5.7	NNW
31	—	2.4	10.9	N
㉘	—	2.8	7.1	N
33	13.3	4.4	13.5	WSW
34	—	6.0	12.4	WSW
35	—	1.9	5.8	SW
36	—	1.8	6.0	ENE
37	—	2.2	6.8	N
38	—	1.6	6.3	NNW
39	0.5	1.9	7.8	N
40	20.5	2.5	9.3	ENE
41	18.5	13.3	17.9	WSW
42	—	5.3	17.5	W
㉚	—	2.1	8.2	ENE
44	—	2.1	7.7	E

註 ○印日次は観測日を示す。(観測地—高松市内)

第28表 汀線上の測定位置の違いによる着塩量の違い

地区別	測定点 (m)	附着塩分量 (mg/100cm <sup>2</sup> )		
		第1回	第3回	第4回
A	0	—	0.13	0.91
B	0	3.30	0.13	1.99
C	0	—	0.02	0.80
D	0	—	—	0.19
E	0	—	0.10	0.06

も、表に示すかたちをとる結果となったものと考えられる。ただ、第4回においてA点がB点よりも少ない値をとったのは、枝葉が余り長く塩風にさらされている場合には、かえって着塩量が減少する場合のあることを門田<sup>(107)</sup>が指摘しているように、風で枝葉が触れ合っているあいだに、針葉にいちじるしく付着した塩分が剥落したためによる着塩量の減少を示すものではないかと推察される。

以上のような傾向は、林内の各測点についても、同様にみとめられるが、しかしその差は、汀線において認められるほど顕著ではない。

(c) 従来、海岸地帯の地上に対する海塩の搬入量の水平的な分布や、開放地における垂直分布については、多くの観測がおこなわれているが、林内とくに、林冠そのものに対して、どのような塩分付着がみられるかについては、あまり観測がおこなわれていないようであるが、この点について検討した結果は、第29表に示す通りであって、概括的にいって、林冠の表層部よりも、むしろ林冠の下層部により多くの塩分の付着がみとめられた。

これは門田<sup>(108)</sup>が、潮風中の塩分の垂直分布を調べた結果から、汀線より100mまでのあいだでは、地上2m以下は大差なく、もっとも塩分が多いが、上方になるに従って、その値は急減する。しかし100mより内陸では、垂直分布の差は少くなり200m附近では、ほとんど等しくなる。また、60m/sec以上の強風が続くと垂直分布の差が少くなることのあることを指摘

しているが、今回の測定点は、すべて汀線から100m以内の地点であって、林内に吹き込む塩風についても、マツ林のような比較的疎開した林分については、開放地における垂直分布と、やや似通った塩分分布をするために、このような結果を示すものと判断される。

ただし、今回測定をおこなった調査地区は、前述の通り、山脚が直接、海に入り込んでいる状態であり、その上に立つ林分であって、各地区の測点No.70が設けられたあたりは、海拔高にしてすでに相当の高さをもっているため、門田のいう、空気中の塩分の垂直分布からして、あるいはまた、荒川<sup>(109)</sup>が指摘するように、海岸が傾斜をもつ場合、平坦地にくらべて、海風の動きは、きわめて複雑に変化するものと推測される。したがって、このような海風の複雑な動きにつれて、海風中の塩分の垂直分布もまた同様な複雑さを示すことが考えられるために、この測定結果をもって、直ちに海岸平坦地に成立する一般の海岸マツ林に適用するのはいささか難点があるであろう。

第29表 林冠の部位別着塩量

地区別	測定点 (m)	附着塩分量 (mg/100cm <sup>2</sup> )		
		林縁 (海側)	林内	
			下層	表層
A	0	0.91		
	70	1.99		
B	0		0.35	0.25
	70		0.43	0.16
C	0	0.80		
	70		0.44	0.14
D	0	0.19		
	70		0.16	0.14
E	0	0.06		
	70		0.08	0.10
			0.08	0.08

#### 第10節 摘 要

アカマツおよびクロマツの海岸地帯における天然分布を規制する主要な一条件として、海塩の存在が考えられる。それゆえ、アカマツおよびクロマツ林の海岸地帯における成立について考える場合、当然、その海岸地帯における、海塩の「あり方」が問題となる。

すなわち、本章では、この海塩に関する問題を、主として、海岸林地に対する海塩の搬入量と、その分布ならびに移動の面から検討した。

海塩が海洋から内陸に向かって搬入される場合、搬入海塩の主体は、常態においては、主として海風によるものであることが推定される。この場合、海風による海塩搬入の機作からみて、内陸に搬入される海塩の量は、海風の風速と風向とによって大きく支配される事実を確めた。

さらに、内陸に搬入された海塩の林地における分布の状態と、その移動の様相について検討した結果、海岸地帯における林地土壌の塩分含有量は、たとえ同一地点で測定しても、その測定の期日を異にすることによって、相当に異った値を示すこと、つまり、土壌含塩量には変動のあることがあきらかにされ、同時に、この土壌含塩量の変動（振巾）の大きさは、一般に、汀線に近いほど大きく、内陸に入るほど小さい傾向をもつことがあきらかにされた。したがって、ときには、内陸地点の土壌含塩量が、汀線に近いそれよりも大きい値を示すことはあっても、長期にわたってその含塩量を通算すれば、気中塩分量において示される傾向と同じように、汀線に近いほどその値は大きく、内陸に入るにしたがって小さいことが推定される。しかも、これを土壌含塩量の振巾が汀線において大きい点と合せて、両種の成立という点から考察した場合、培地の塩分含有量が多いほど、両種の発芽が阻害される事実、さらに、それがアカマツにおいてクロマツよりも、より強く阻害されるという点からみて、マツ種子の発芽に対して、海塩が阻害的にはたらく機会は、汀線に近づくほど多く、とくにそれはアカマツに対して、その傾向がより強くあらわれるであろうことが想定された。

また、水の海塩に対する洗除効果に関する検討をおこなった結果、マツ針葉に対する着塩については、少くとも、日雨量30mmの程度の降水によって、あきらかに十分な洗除効果がみとめられた。また、土壌中の塩分に対する洗除効果については、その土壌に対する水の「与えられかた」により異なる。すなわち、土壌の表層から水が与えられる場合と、下層から与えられる場合とにより、また、同一量の水が上方から与えられる場合でも、それが一時に、急に与えられる場合と、適当な速度で徐々に与えられる場合とでは、それぞれ塩分に対する洗除効果が異なる事実が確められた。さらに、これらの場合において、土質のちがいに、その土壌中の塩分が洗

除される様相は、いちじるしく異なる点をあきらかにした。しかし、いづれの土質においても、土壌の表層から適当な速度で水が与えられた場合、土壌中の塩分に対する水の洗除効果は、もっとも大きいことを土層模型による実験で確かめた。

## 第4章 塩分と土質との関係

### 第11節 土壌コロイドの定量と電子顕微鏡による観察

植物の生育に対する土壌の機能は、種々の養分、水分および酸素などを吸収、保持して、これらの物質を植物に供給すると同時に、根系発育の場を与えるという点で重要視される。しかし、このような機能が、そこに生育する植物にとって、満足すべき状態にあるか否かが、その植物の生育状態を直接支配する一つの重要な条件となることは当然である。

いま、海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林の成立に関して考究するに当たり、とくに海岸地帯における土壌と海塩との関係は、それゆえ、きわめて重要な問題となる。

ところで、土壌の機能の低下と塩分との関係については、種々の面からすでに多くの研究がおこなわれているが、筆者は、林木の生長のうえからみて、林地土壌の示す養・水分の吸収ならびに保持機能が、土壌的条件として、とくに重要であることから、塩分と植物の生長との関係を論ずるにあたって、一応、土壌のこのような側面についての検討をおこなうこととした。

土壌の吸収性については、すでに古くから認められているところであるが、1850年代、Wayによって、はじめ組織的な研究が開始されるにいたった。しかし、この土壌に吸収性を与えるところの吸収母体についてもまた多くの研究があって、諸種の見解が提示されているが、大杉<sup>(110)</sup>によれば、土壌の吸収の主要部は粘土分と腐植分である。とくに、粘土中ではアロファン系のものが中心となるし、腐植の吸収力も相当に強いという。

すなわち、土壌の吸収性の主体は、主として、粘土分であり、さらに腐植がこれに加わると見てよいであろう。したがって、このような見地に立って、土壌の吸収性を吟味するうえで、まづ第一に取りあげねばならないのは土のコロイドの問題である。

ところで、土のコロイドは、種々のコロイドの混合したもので、膠質複合体と名付けられる。これは、土の塩基吸収の主体をなすものと考えてよく、それゆえ吸収複合体と呼ばれる。しかし、奥田<sup>(111)</sup>によれば、このコロイドは一種の両性コロイドとみなされ、その示性を左右する重要な因子は、コロイドの組成と土壌のpHにあると考えられる。

一般に、自然状態の土のコロイドは表面は陰性に帯電し、その外側に種々の陽イオンが引きよせられていると考えられ、この塩基は容易に他の塩基と置換される。しかし、この置換性塩基の種類と量とは、土によって異なるが、その種類は土壌の物理性と密接な関係があるものとみられ、石灰とマグネシウムの多い土壌は凝固しやすく、団粒構造をとる。ところで、海水の浸入した土壌は置換性石灰が少く、ソーダが多くなり、これによって、土のコロイドは解膠して、単粒構造化し、したがって、水や空気の透過がわるく、また、乾燥すると土が固結して大きいひびわれを生じ、根は切断される。

要するに、ある土壌がもつ吸収性の強い、弱いかは、このような関係から、そこに立っている植物の生長に対して、きわめて重大な意義をもつものといえるのであって、養分の保持、ないしは流亡、あるいは、植物の吸収根に対する養分の供給に直接関係するものであり、その吸収性の母体が、土壌コロイドであってみれば、土壌コロイドが植生の問題を取りあつかう上で果す役割は、きわめて重大視されねばならないであろう。

このような観点から、林木の生育に関する土壌の条件を吟味するに当たって、その問題を一定の土壌に塩水が与えられた場合、土壌のコロイド量が、どのように変化するかという点にしぼって、検討することとした。

#### 1 土壌コロイドの定量

##### a. 定量方法および結果

定量方法としては、第7節において用いた土層模型を利用し、これに、上層から滴下式に、塩水（0.1Nの

NaCl溶液)、あるいは蒸留水を注水し、着塩量の検定をおこなったと同様の方法により、各層の土壌を採取し、着塩量を測定すると同時に、一方においてコロイドの分析定量をおこなった。

一般に、土粒群についての機械的分析には、普通、一連の篩を用いるが、この方法では比較的粗大な粒子しか分離できないので、微細粒子の分別には、液体中の粒子の落下速度が、粒子の大きさ、形状などによって異なる原理を応用して、分離をおこなう。しかして、この懸濁液中の粒子の分布状態を知ること、すなわち、粒子の粒径および、頻度分布を測るには、原理的にみて、

- (1) 一定深度における懸濁液密度の時間的变化。 (2) 一定時間における懸濁液密度の深さともなう変化。
- (3) 一定深度における懸濁液の静水圧の時間的变化。 (4) 一定時間における懸濁液の静水圧の深さに伴う変化。
- (5) 一定深度における懸濁液中物体重量の時間的变化。(6) 一定深度における懸濁液からの沈積物重量の時間的变化。 などについて検定する方法がある。しかして、コロイドの分別のためには、その設備が比較的簡単で、しかも、ある程度の精度がえられるところから広く利用されるのはPipette法である。

Pipette法は、これらのうち(1)の値を検定する代表的方法といえるが、この方法の基本的な原理は、懸濁液の一定の深さにおける粒子密度を、時間の函数として決定するにあり、密度の変化は所要の深さから一定容積の試料を取り出して、これに含有されている乾物量を測定することによって求める。

しかして、この場合、深さhにおける懸濁液の濃度はh/t cm/sec以下の沈降速度をもつ、すべての粒子の部分的濃度の総計<sup>(112)</sup>である。

すなわち、筆者は、このPipette法を応用して、コロイドの定量をおこなうこととした。ところで、本実験の目的からみた場合、問題の中心的役割を果しているものは、どの程度の粒径からなのであろうかという点であるが、この点については、当然、通常、土のコロイドと呼ばれている粒径0.001mm以下の部分に焦点がおかれるべきであることは勿論であるが、同時に、コロイドに到るまでの、より大きい粒径の部分の粒子の含まれ方にも注目すべき問題を含むものと考えられるので、一応、0.01 mm以下の粒径について分別定量することとした。

すなわち、本実験においては、25gの乾土(この場合における採土の方法は、すべて前節において採用した方法を準用することとした)を沈降分析用シリンダー(内径 約6 cm, 高さ約47cmのガラス円筒)にとり、約200mlの蒸留水を加えて充分に振とう攪拌し、これに蒸留水を加えて、正確に1Lとし、上下によく振ったのち、振動を全く除くように作ったコンクリート台の上に、シリンダーを静置し、静置後、液温25°Cで、64分をおき、水面下10cmの部分の液を、メスピペットで正確に50ccだけ、静かにとり出し、これを平底の蒸発皿に受け、105°Cで乾燥し、充分に放冷してから精秤し、恒量になったときの値をもって、そのコロイド量とみなし、処理することとした<sup>(113)</sup>。

もっとも、この場合、懸濁液中に含まれる固体粒子の量によって、粒子の沈下に相当の影響のあることが考えられるため、その用いる懸濁液濃度は充分に低いことが必要であり、Robinson<sup>(114)</sup>は、沈降分析のために2%あるいは5%の濃度の懸濁液を用いているが、この濃度と比較して、筆者が本実験において採用した濃度は、ほぼ適当なものと考えられよう。以上の処理によって、第30~32表の結果をえた。なお、この場合、液温をできるだけ一定にするように、測定は午前中の適当な時間をえらんでおこなった。さらに、懸濁液の比重について

第30表 塩水の滴下と土壌コロイドの分布との関係

土の種類	表層からの深さ(cm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	平均	摘要
	項目													
埴土	NaCl 量	3.39	2.40	2.28	2.17	2.28	2.17	2.17	2.10	2.10	2.10	1.64	2.255	
	コロイド量	47	38	36	36	36	38	36	39	34	32	24	39.1	
砂土	NaCl 量	0.76	0.63	0.71	0.76	0.85	1.00	1.04	1.00	1.20	1.23	1.29	0.952	
	コロイド量	10	11	9	9	10	9	8	7	6	5	5	8.1	
壤土	NaCl 量	2.51	1.23	1.46	1.52	1.81	1.87	1.87	1.99	2.10	2.75	3.45	2.051	(電頭試料)
	コロイド量	45	32	26	26	24	20	21	20	19	18	18	24.5	

第31表 純水の滴下と土壤コロイドの分布との関係

土の種類	表層からの深さ (cm)		項目											平均	摘要
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50				
埴土	NaCl 量	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.18	0.29	0.41	0.90	0.238	
	コロイド量	52	50	50	49	44	41	40	38	40	32	31	42.3		
砂土	NaCl 量	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.120	
	コロイド量	2	4	5	6	7	6	6	7	7	7	5	5.6		
壤土	NaCl 量	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.120	(電頭試料)	
	コロイド量	18	18	16	15	13	12	10	10	10	10	6	12.6		

第32表 塩水及び純水の滴下と土壤コロイドの分布との関係

土の種類	表層からの深さ (cm)		項目											平均	摘要
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50				
埴土	NaCl 量	0.29	0.29	0.32	0.47	0.47	0.47	0.47	0.50	1.03	0.94	0.85	0.555		
	コロイド量	54	50	46	45	43	40	40	31	28	25	25	38.8		
砂土	NaCl 量	0.18	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.23	0.23	0.23	0.28	0.41	0.231		
	コロイド量	3	5	7	7	9	11	10	10	10	6	5	7.5		
壤土	NaCl 量	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.41	0.58	0.99	0.325		
	コロイド量	22	20	20	20	18	12	10	12	10	9	8	14.6		

註：。NaCl量は mg/1g (乾土)、コロイド量はmg/50mlで示す。

。塩水には何れも、0.1N NaCl溶液を用いた。

(第30～32表共通)

も、同一比重に調整されるべきはであるが、この点、本実験においては試料がそれぞれ異った含塩量のため厳密にいて、多少とも問題を含むことを容認せざるをえなかった

**b. 考 察**

この測定結果からみて、一般にいえることは、1, 2の例外を除けば、各試験区を通じて、土層の表層部から下層部に向って、コロイドの分析定量値が遞減しているということである。

しかして、この測定でえた結果を、第7節においてすでに検討した塩分分布の型と照合してみると、きわめて興味ある結果というべく、すなわち、塩水の影響をより多くうけると想像される部分において、コロイドの分析定量値が高くなっているという点である。これは、すでに述べたように塩分の存在による土壤コロイドの解膠にその主因を求めることができるものと考えられるから、この分析定量値から、ただちにその土壤自体のもつコロイド量が多くなったとみるべきものではなく、むしろ、それは土壤のもつコロイド量から差し引かれるべき値が示されているものとするべきものであろう。したがって、この場合、分析定量値は、土壤中の粘土量の多少とも、当然関連するものと考えられ、測定結果からみて、いづれの場合においても、コロイドの分析定量値は、埴土>壤土>砂土 なる値をとった

さらに、コロイドの洗脱について考えるに、その洗脱される量は、もちろんその洗脱にあたる水量に関連することは当然であるが、しかし必ずしも水量のみが関係するものではなく、むしろ、その洗脱にあたる水の性質——水質——にきわめて重大な関連をもつものとする。このことは、第32表の結果を第30および31表の結果と対照してみると、理解しうるものであって、第32表においては、300mlの塩水と250mlの純水、計550mlを注加しているもので、コロイドの洗脱量が、その洗脱にあたる水量にのみ関連するものとするれば、当然第32表に示され



ている値が、各土壌とも、同一の土質の試験区のあいだにある限りでは、最大値をとるべきであろうが、本実験においては、その順序をとらず、同一土質による試験区の系列間にあつては、概ね、塩水注加区>塩水および純水注加区>純水注加区の値をとった。これは、「塩水および純水注加区」では、水による塩分の洗除によって、土壌の塩分量が減少し、土壌コロイドに対する解膠作用が低減した結果、解膠によって検出されるコロイド量が減少したものとする。ただ、本実験においては、注水処理法として、土柱に対する水の掛け流しをおこなっているので、この掛け流しによって、とくに容易に洗脱をうける部分のコロイドは、すでに失われているものと考えねばならず、ここに検量されたコロイドは、一応解膠されながらも、まだ土壌中に残存している部分のもののみなすべきであろう。つまり、ここに検量された土壌コロイドは主として、鉱物質に由来するものであり、反面、容易に洗脱をうける部分として考えられるものは、主として、十分にコロイド化するすんだ、有機物に由来するところの土壌コロイドと鉱物質に由来するコロイドの一部とである。

## 2 電子顕微鏡による観察

以上の結果について、さらに吟味をおこなうべく、コロイドの定量にもちいたと全く同様の試料を用い、この中から壤土に塩水を注加した区、および純水を注加した区について、電子顕微鏡による観察をとおして検討することとした。これには、試料として、懸濁液0.05mlを、マイクロピペットを用いて正確に採り、これをあらかじめ、Meshの上につくったCollodion膜上にのせ、極くよわい加熱によって、徐々に乾燥し、被検体とした。

電子顕微鏡による観察には、徳島大学医学部中央研究所々属の日立製万能型電子顕微鏡を用いた。この電顕による観察結果は、写真13および14に示す通りであつて、塩分による解膠の様相が、これらの結果からほとんど明確に観察しうる。

ここで、写真13は純水を注加した試験区の結果を、また、写真14は塩水注加試験区の結果をまとめたものである。なお、写真13および14において、(1)より(5)までの番号は、各試料の採取位置をあらわす。すなわち、(1)を土層表面として、これより10cmづつ深さを増した層位におけるそれぞれの試料による観察結果であることを意味する。

かくして、この観察結果によれば、純水を注加した試験区、すなわち、写真13の系列では、まだ十分に解離されずに凝集した状態にある土壌粒と、わづかのコロイドが観察される。これに対し、塩水を注加した試験区、すなわち、写真14の系列においては、その解膠が、写真13の系列において見られるよりも、よりすすんでいる点が判明する。

さらに、この点について、より詳細な検討をおこなうべく、Shadowingの技術<sup>(14)</sup>を適用して、電顕観察をおこなった。すなわち、壤土に塩水を注加した区の上層部（表層から、深さ10cmのところ）と、下層部（深さ30cmのところ）から試料をとり、被検材料とした。これによって、写真15および16に示す結果をえた。この結果から、塩水の影響をより多く受けた上層部（写真15）では、コロイド粒子がよく分離している状況が観察されるのに対し、塩水の影響の比較的少かつたと思われる下層部（写真16）では、むしろそれが凝集塊として観察される。

さらに、写真15および16は、電子の照射角度を $\tan 10^\circ$ にとつてあるので、被検体の投げる陰影の長さから、その被検体の厚さを、おおよそ知ることができるのであつて、この被検体の投げる陰影から推しても、上層部が、下層部に比較して、よく解膠している事実を明確にすることができる。

以上の結果からみて、塩水によって、土壌コロイドが洗脱されることはほぼ明確であり、このことから、土壌の養分保持と土壌コロイドとの関係にだけ限つて考えても、塩分と土質との関係はきわめて重大であり、したがつて、海岸地帯における林木の生長におよぼす塩分の影響は、この点からみてもまたきわめて大きいことが理解できる。

## 第12節 摘 要

第2章では、主としてアカマツおよびクロマツの生理的な面に対する海塩の直接的な影響に関し、また第3章では、これに関連して、海岸林地における海塩のあり方に関して検討をおこなつたが、さらに、海塩は、このような植物生理的な側面における影響と同時に、林地の土壌そのものに対しても重大な影響を与え、それが土壌を

介して、そこに立つ林木に間接的に、しかも結果的には大きな影響を与えることが考えられる。

本章では、このような見地に立って、とくに海塩が林地土壤に与える影響を、とくに土壤コロイドの面から検討した。

すなわち、砂土、壤土、埴土に対して、それぞれ、塩水、塩水と蒸溜水、および、蒸溜水を注加する3つの処理方法について、その土壤コロイド量を、Pipette法により定量、比較吟味した結果、その土壤コロイド量は、同一の土質のあいだでは、注水処理方法のちがいにより、およそ、塩水注加区>塩水と蒸溜水注加区>蒸溜水注加区の値をとった。

また、同一の注加処理をおこなった区のうちでは、およそ、埴土>壤土>砂土の順の値をとった。

しかし、これら、土壤コロイドの定量値の順位は、海塩の影響によって林地土壤のもつ土壤コロイドが洗脱されるであろうと考えられる量の順位を示す指標となるものと考えた。

なお、これらの土壤コロイドについて電子顕微鏡による観察をおこなった結果、塩水の注加によって、土壤コロイドが、蒸溜水の注加による場合よりも、よく解膠している事実が確認された。

これらの結果からみて、海岸地帯における過剰の海塩の存在が、林地土壤のもつ土壤コロイドを解膠し、その洗脱を助長するであろうことが推定された。したがって、海岸林地に搬入された海塩は、その林地土壤の養水分保持能力を低下せしめるものであり、このことから、海岸地帯に生育するアカマツないしクロマツは、海塩によって、その正常な生育が妨げられることが想定された。

## 第5章 現実林に対する実験的研究

### 第13節 海岸林土壤の着塩量

#### 1 調査地と調査法

マツの天然分布と林地土壤の着塩量との関係を明らかにする目的で

1. 新潟県、瀬波防風林<sup>(116)</sup> (アカマツ、クロマツ混生林)
2. 新潟県、磐船防風林 (アカマツ、クロマツ混生林)
3. 石川県、砂浜防風林<sup>(117)</sup> (クロマツ林、ただし、内陸側のごく一部にアカマツ混生)
4. 福井県、北潟防風林 (クロマツ林)
5. 福井県敦賀市、気比防風林<sup>(118)</sup> (アカマツ、クロマツ混生林)

について、土壤の含塩量を調査した。

試料として用いる土壤は全体を通じ、事情のゆるすかぎり標準地をえらび、その地点で海岸側の林縁、内陸側の林縁およびその中間点で採取することを原則とし、そのほか、現地において、とくに問題を含むと思われる地点、すなわち、植生的にとくに変化のみとめられる地点、地形的にとくにいちじるしい変化がみとめられる地点、あるいは、土壌的に特徴のみとめられる地点など……については、付加的に採土地点としてそれらを取りあげた。この場合におこなった採土の方法、および塩分量の測定法は、第7節において述べた方法と全く同様である。しかし、以上の各地点における、土壤の塩分量は、第33表に示す通りである。

#### 2 調査結果と考察

これらの結果全体を通じていえることは、実際の林地における土壤の着塩量は、意外に少なかったということである。

これは、第6節において、すでに触れた、香川県における海岸林土壤の着塩量の観測結果(第20表参照)と比較しても、一般に低い値をとっていることが指摘できる。これは、林況や地況などに原因することもあるであろうが、もっとも大きな原因は、気象条件、とくに降水量の問題にあるものと考えられる。

すなわち、原田<sup>(119)</sup>によれば、若州以北、越後に至る一帯は、日本のうちでもとくに降水量の多いところといわれ、平均年降水量は、ほぼ2000mmから3000mmである。これに対し、瀬戸内およびその沿岸は、我が国でもとくに降水量が少く、最少降雨地帯に入り、平均、年600~1000mm程度の降水量である。

さらに、すでに論じたごとく、植物の天然分布に最も重要な一つの因子としての水分問題を、とくに天然下種

第33表 北陸各地の海岸林土壌の着塩量 [NaCl:mg/1g (乾土)]

測定地		地表からの深さ (cm)									測定日及備考
		0	10	20	30	40	50	60	80	100	
瀬波	海側林縁	0.23	0.23	0.18	0.29	0.29	0.41				36-5-17
	林内中間	0.12	0.18	0.18							
	海側山腹 (重粘土)	0.35	0.35	0.41	0.41						
磐船	林内クロマツ生立地点 (汀線より300m)	0.23	0.18								36-5-18 アカマツ混生 (上ノ山)
	前砂丘の地点 (汀線より100m)	0.12	0.18	0.12							
砂浜	内陸側林縁(アカマツ生立点)	0.18	0.18								36-4-4 (上木) (上木) (85-い)
	海側林内 (前砂丘の内側)	0.18	0.23								
	中間林内	0.23		0.23		0.23		0.18	0.18	0.23	
	海側林内 (前砂丘の内側)	0.29	0.18								(87-は)
	中間林内	0.23				0.18					36-4-7
	海側林内 (前砂丘の内側)	0.29		0.18		0.29					
	中間林内	0.18		0.18		0.23					
海側林内 (前砂丘の内側)	0.18		0.23		0.18						
北潟	海側林縁	0.23									(北潟第1) 36-5-7
	海側林縁	0.29									
	海側林縁	1.80									
	海側斜面	0.41		0.23							36-4-5
	コモ工前面 (海側)	0.23									
コモ工直前	1.29										
内面	0.29										
敦賀 (気比)	海側林縁	0.18	0.35	0.23							36-5-19 (前日降雨13mm)
	汀線より 100m	0.18	0.12	0.18							
	汀線より 150m	0.12	0.18	0.12							

による林内の種子の発芽と土壌の着塩量との関連においての降水量という点から検討するとき、その降水量は、ただ単に年間の降水量の総計だけが問題となるのではなく、降水の年間配分について慎重に検討する必要がある。とくに積雪地方においては、林地土壌の着塩量と積雪および融雪期の関係が、きわめて微妙に関係し、それがひいてはマツ種子の発芽に大きな影響をもつ場合のあることも十分に想定される。

すなわち、北陸地方一帯の積雪期と、この地域に対して海塩をもっとも多く搬入するものと予想される季節風の卓越期とは、ほとんど重なり<sup>(120-122)</sup>、したがって、この積雪期間中に搬入された海塩の大半のものは、融雪によって、おそらく十分に洗除されるものと考えられ、その結果、少なくとも、融雪直後においては一般に土壌着塩量が、きわめて少い状態におかれるものと推定できる。

とくに、今回の調査の対象となったこれらの林分の多くは、砂土であって、土壌の塩分保持力は一般に小さいものと思われるから、海塩の搬入がかなり多くとも、すでに第8節において確かめたごとく、比較的少い降雨によっても土壌中の塩分は十分な洗除作用を受けるものと判断される。

いづれにしても、今回の観測結果から、ただちに、これらの各林分に対する海塩の搬入量が常に小さいものと結論することは妥当でなく、むしろ、搬入された海塩がよく洗除されたものとみなすべきであろう。

このような推察は、現地における植生の観察結果、とくに、マツの幼樹などにみられるひどい塩害の発生状況

(写真17参照)、搬入海塩量の測定値<sup>(123)</sup>ないし、気象観測値<sup>(122)</sup>、あるいは、福井県北潟防風林の冬季における潮風の吹きあげの実況(写真18参照)などから総合しても理解しうるところであり、このような点から推して、これらの林地に対する海塩の搬入量は、その林分によっては、現実には、むしろ、相当多量であると判断すべきものであろう。

以上の諸要点を総合して、結論的にいえることは、今回の調査においては、アカマツ、クロマツ混生林とクロマツ林とのあいだには、その土壤中に含まれる塩分量のうえでは、相互のあいだにそれほど大きな差異はみとめられなかったということである。しかし、これはすでに検討したように、単なる1時期における塩分量の測定結果と、マツ天然分布との関係とを、たゞちに結びつけて考察することの困難性をもまた、同時にみとめられねばならないということの1つの証左になるものと考えられるのである。

いま、北陸各地の林地土壌に関する塩分量の調査結果に関連して、北陸地方と対比的な気象条件下にある東海地方における土壌の着塩量を推測するに、東海地方は全般的にみて、夏は南東、もしくは南西寄りの風が吹き、梅雨、台風などの関係で降水量が多い。これに対して冬は北西の季節風が卓越し、比較的晴天がつづき、降水量はいちじるしく少い。さらに、この地方では一般に、冬季晴天の日には強い偏西風が吹き、天候の悪化とともに終息する特徴をもつ。

ところで、一定地点における着塩量は、主としてその地点における風速、風向および降水量に大きく支配されるから、この地方を全体的にみて、海塩の搬入量の多くなるのは、おそらく、南寄りの風であろうと考えられ、横浜、静岡、浜松などにおける気象資料<sup>(121 124 125)</sup>からみても風の条件だけについてみれば、ほぼ3～4月から10月の期間と推定される。しかし降水量をみると、これらの各地ではおよそ6月から10月にかけて多くなり、したがって、着塩に対する雨洗作用も同時に大きくなるものと推定される。したがって、東海地方各地における海塩搬入量の絶対値については、当然これらの時期がもっとも高い値を示すものであろうと推定されるが、実際問題として、着塩量を塩害あるいはマツ天然分布のうえから考える場合には、むしろ絶対量のうえで最大値をとるこれらの時期ではなく、たとえ海塩搬入量は、それより少くても、雨洗作用の少い時期について注目しなければならぬであろう。このような見地からして、冬季降水量の少い時期の偏西風による、相模湾、駿河湾、伊勢湾などの各東岸部一帯に対する海塩の搬入と、南寄りの風が吹きはじめ、しかも降水量の比較的少い3～5月ごろの沿海地帯全域に対する海塩の搬入とが、東海地方における林地土壌の塩分含量の点に関して軽視できないものとなるであろう。しかし、さらに重大なことは、この地方では台風の影響が多く、6月～10月の台風、とくにカラ台風による海塩の搬入量はきわめて大きいものと想定され、したがって、塩害はもちろん、林地土壌に対する着塩についても、もっとも重大な影響をもつものと考えられる点である。

これらのことは、国鉄電気施設の塩害多発地域として、大船、豊橋間がとくに注目されていること、また、送電線の塩害事故多発地として、駿河湾沿岸および、渥美湾沿岸があげられていること、とくにこれらの地域では台風塩害、わけてもカラ台風による着塩によっておこる事故が、もつとも激甚であるという事実<sup>(126 127)</sup>からしてもこの間の事情がほぼ推察できるのである。

## 第14節 海岸林における種子の発芽ならびに苗木の成立の問題

### 1 海岸林における天然生稚樹発生の状況とそれに関する論議

現実の海岸林について観察するに、海岸地帯におけるマツ植栽にあたって、たとえそれが、地域によっては相当の保護工作を施す必要があるにしても、そこに植栽された苗木が全く活着、生長しえないということは、まづないであろう。よしんば、それがきわめて悪い条件下における場合でさえ、苗木の正常な生長は期待できないまでも、ごく特殊の場合を除いて、少くとも、そこに苗木が生立することだけは、多くの場合可能である。これに対し、天然下種による稚樹の発生は、各地域にわたって、つねに見られるとはいえない。この天然生稚樹の不成立の原因については、種々考えられるが、なかでも、種子ないし稚苗期における鳥獣害あるいは虫害などは、この問題を考えるうえで、決して軽視できない大きな要素である。

ところで、前節において取りあげた調査地の各林分を通じて、これら各林地における天然生稚樹の成立状況を観察した場合、アカマツ、クロマツ混生林については、両種の稚苗の成立しているのがよく見られた。

すなわち、瀬波、磐船、気比の各地区、および砂浜地区の内陸側アカマツ混生地点などである。

これに対し、砂浜地区の大部分、および北潟地区のクロマツ生育地点などでは、ほとんど稚樹の発生がみとめられなかった。

これには、林内の明るさが直接関係しているのかも知れないし、あるいはまた、細井ら<sup>(128)</sup>がすでに指摘しているように、鳥獣害や虫害などが主な原因になっているのかも知れないが、しかし後で述べるように、適当な保護施設をほどこすことによって、それまでそこに稚樹の発生を見なかった地点に、多くの天然生稚樹の発生をもたらしうる事実からすれば、以上の諸条件が稚樹の発生をさまたげる主要な条件になっているものとは、少くとも、本調査地に関する限り考えにくい。

すなわち、筆者は、これらの地点における他の条件、とくに海岸地帯に特有な気象条件、さらに、それによって誘導される特殊な土壌条件などが、稚樹の発生に対して総合的に妨害因子としてはたらくものと推定する。

しかして、すでに第6節において述べたごとく、海岸地帯の特殊環境の主体をなす要因は、卓越する潮風と、土壌表面に搬入される過剰な塩分であり、これらが植物生理的にはたらく一断面は、強風がもたらす、植物表面および土壌表面からの蒸発による水分奪取であり、塩分による生理的乾燥である。としてみれば、このような海岸地帯においては、まづ、乾燥に対する耐性の強弱によって、発芽ないしは苗木の生育の可能性が規制されるものと考えられる。このような見地から、いま、アカマツおよびクロマツの稚樹、ならびに苗木の耐乾性を検討するべく、それらの吸収根について、その細胞浸透圧を測定してみた。

植物の耐乾性を検討する方法としては、一般に、その根の浸透圧を指標として用いるけれども、MAXIMOW<sup>(129)</sup>によれば、細胞液の浸透圧の値それ自体は、任意の瞬間時における細胞の吸水力をあらわすものではなく、ある一定の細胞が一般に発揮しうる吸水力の最大値を示すものであり、それが直接、植物の耐乾性につながるものではないという。しかしながら、たとえ植物水分生理のうえからみた細胞浸透圧に関する問題には種々の論議<sup>(130-131)</sup>が残るとしても、その植物の耐乾性を検討するための一指標として、細胞浸透圧をとりあげることの重要性についてはほとんど疑義は残らないであろう。

ところで、細胞浸透圧の測定法については種々の方法が考えられている<sup>(132-135)</sup>が、岡崎<sup>(136)</sup>は林木に関する浸透圧測定には、実用的な立場から、Burian-Drucker氷点降下測定装置による間接測定法を推奨している。本法は、その装置および処理法が比較的簡単でしかも相当精度の高い測定がおこないうる点で注目すべき方法ではあるが、しかしこれには細胞液汁を、最少限1.5ccは必要であり、筆者の対象とする材料においては、実際問題として、この点から本法の適用がほとんど不可能であり、便宜的に熱電対<sup>(137-138)</sup>によって直接植物組織の氷点降下度を測定することとした。この測定には、英弘精機製のEKOMico-Pyrometerを使用した。本器は検流計として、可動指針型を採用しているため、実際の使用にはきわめて便利であるが、その感度は低く、十分な精度はほとんど期待しえない欠点をもつ、しかし、実験の目的が試料それぞれの氷点降下度の精密な絶対値を測定するのにあるのではなく——もちろん、精密度の高いことは常に重要ではあるが——むしろこの場合、各試料の相対的な値を知ること重点をおいたためと、実験設備の関係上とから、実用的に簡便な方法を採用することとした。したがって、測定結果についても、気圧換算をすることなく、計器の読みを直接表示することとした。ただし、本実験に用いたThermocoupleは、試料がきわめて微細な材料であるため、とくにS·W·G·52の銅線およびConstantan線をもちいて自製した。

供試材料としては、アカマツおよびクロマツの発芽して間もない稚樹で、種々の程度に芽の伸びたものの幼根と、アカマツ、クロマツの3年生苗の吸収根の最先端部とをもちい、これらの材料を眼科用メスで長さ3~5mmの程度に切断し、その横断面中央部に熱電対の一端を確実に挿入し氷点降下度を測定した。以上の処理によって、第34表の結果をえた。すなわち、この結果から、アカマツとクロマツを比較した場合、その細胞浸透圧は、稚樹においても、3年生苗においてもアカマツのそれがクロマツにくらべて、つねにやや低い値をとること、さらに、稚樹期の細胞浸透圧と3年生苗のそれとを比較した場合、アカマツ、クロマツのいずれの樹種においても、稚樹期のそれが、明らかに低いことが推定される。したがって、細胞浸透圧が耐乾性の一つの指標となりうるものとすれば、アカマツにおいてもクロマツにおいても、発芽後間もない稚樹期におけるものの耐乾性は、やや生育した苗木のそれよりも、あきらかに劣るものと判断される。

ところで、塩分の存在下におけるアカマツおよびクロマツ種子の発芽、ならびに苗木の活着について検討するに、伊藤および稲川<sup>(139)</sup>によれば、NaCl 0.8%溶液を注加した発芽床では、両種子とも全く発芽をみなかった。

第34表 樹種別永点降下度

樹種		アカマツ	クロマツ
項目	芽長(cm)		
	0.5~1	11.2	—
	2.0	11.2	12.8
	2.5	11.4	12.8
苗	3.0	13.2	13.3
3年生苗(直根)		30.5	31.7
蒸溜水		2.2	2.2

註：① 氷点降下度はガルパノメーターの読取値で示した。  
 ② 直根は根端を用いた。  
 ③ 各区10個体平均。

第35表 NaCl処理による床替苗木の活着率(%) (伊藤、稲川<sup>(199)</sup>による)

濃度	時間				平均	
	3	6	12	24		
アカマツ	1 %	40	20	60	40	45.0
	2 %	80	20	60	0	40.0
	3 %	60	0	0	0	15.0
	平均	60.0	13.3	40.0	13.3	

アカマツ対照区 60%

濃度	時間				平均	
	3	6	12	24		
クロマツ	1 %	50	80	60	70	65.0
	2 %	90	50	70	0	52.5
	3 %	70	30	10	40	37.5
	平均	70.0	53.3	46.7	36.7	

クロマツ対照区 100%

第36表 アカマツおよびクロマツの海岸林地(香川県志度町)における発芽数(100粒中)

場所	種類			
	アカマツ	クロマツ		
現地	47	(49)	84	(85)
対照(実験室内)	96	(100)	99	(100)

註：( )内は、対照区に対する指数を示す  
 1961.4.8播種, 1961.5.28調べ

が、1年生苗木をNaCl溶液に浸漬したのち、床替えした結果は第35表の通りであったという。この結果からみると、アカマツおよびクロマツの塩分に対する耐性は、おおむね、苗木において種子の発芽当時におけるよりもより高いものようである。

以上、これらの実験結果は、現実の海岸地帯における前述の観察結果——植栽苗木の生育はゆるされる地点でも、その同じ地点に対して天然生稚樹の発生は必ずしも約束されない——を首肯する一つの材料となるものと思う。

筆者は、以上の論議を検討するべく、比較的風あたりの少ない海岸林地をえらび、実際に現地におけるアカマツおよびクロマツ種子の播種試験をおこなった。

試験地は、香川県志度町の国有林(高松営林署管内、西大串、第20林班)で、すでにアカマツの植林に成功している地点である。

播種試験のためにえらんだ地点は、上方の開けた、北西側斜面で汀線より約10mほど内陸に入ったところである。

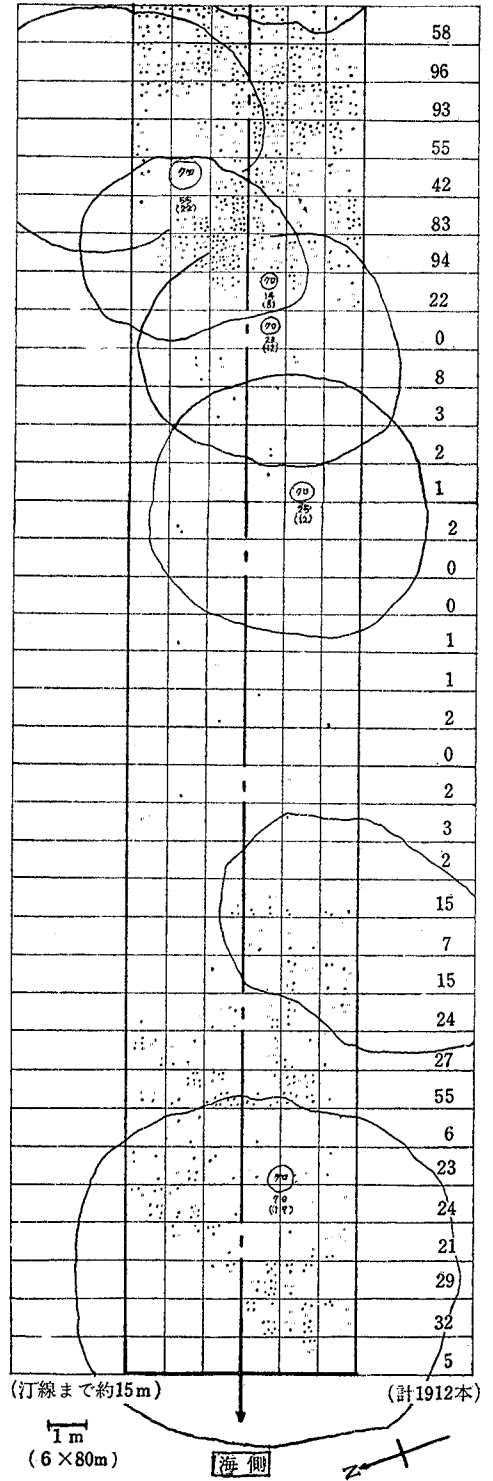
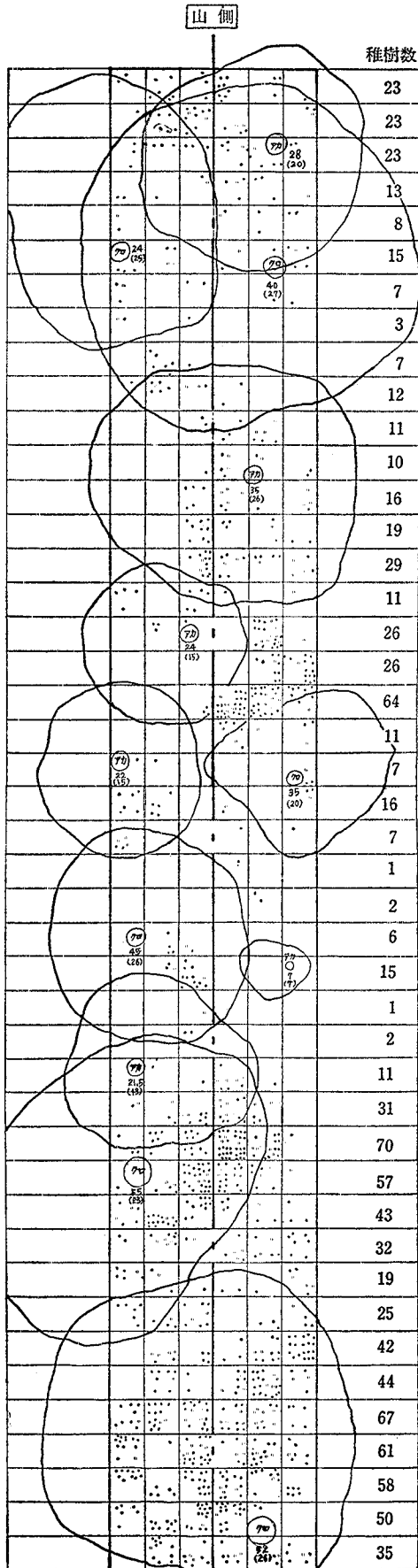
播種床は地表を掻きならした程度として、できるだけ現状をとどめるように注意した。播種ののち種子の移動を防ぐだけの目的で種子の上面とひとしくなる程度の覆土をおこなった。その発芽結果は第36表に示す通りである。

すなわち、この結果からみて、少くとも風あたりの少ないこの林地では、両種の発芽数において多少の差はみとめられるとしても、いづれも充分稚樹の発生を期待しうることが明らかにされた。

さらに、筆者は現実林について、アカマツおよびクロマツの天然生稚樹の発生状況を実際に検討する目的で、アカマツ、クロマツ混交林を対象として、Belt transect法により、両種の成木と天然生稚樹を対象とした植生調査をおこなった。

調査地は、高松営林署管内、屋島、第24林班で、檀の浦の小湾入をはさんで屋島とあい対し、冬の季節風に対してはこの屋島台地の風下となり、防風効果がきいている地点とみられる。この林分はクロマツを主としたアカマツ、クロマツの天然生林であり、その北西斜面のほぼ標準地と思われる部分をえらび調査地点とした。(第13図の矢印の地点・第13図参照)

調査の結果は第14図の如くで、汀線に近く、クロマツがよく立ち、汀線から60~70mの地点で、アカマツが入ってくるのがみられる。また、天然生稚樹については、1年生がそのほとんどであり、したがって稚樹についてのアカマツ、クロマツの識別はやや困難なため、しいて両種を区別せず一括図示することとした。ただ、調査中わづかな本数ながらアカマツ苗と確認できたものもあったが、これらは主として汀線から70~80m以上入った地点においてみとめられたものであったことを付記しておく。



(樹種) 図の中の黒点はマツ稚樹を示す  
 胸高直径 cm  
 (樹高) cm 1961・8 調査

14図 Belt transect図

(調査地点 高松営林署管内 屋島24林班・  
 第13図の矢印の地点)

この調査結果からみて、本調査地では下生植物の侵入によって、その発生のさまたげられている部分を除き、天然生稚樹の発生がよくみとめられるといえる。

なお、下生植物は主として、ネササと直播によるウバメガシである。また、本調査地では、幼令樹がみられないが、これは慣行によって下草の刈取りがおこなわれている結果にもとづくものと思われる。

しかして、以上の諸結果から考察して、筆者は、現実とその海岸林において、たとえそれまで天然生稚樹の発生をみとめえなかつた地点でも、そこに何等かの施策を構ずることによって、天然生稚樹のある程度の発生を可能ならしめ得るものとする。

## 2 天然生稚樹の発生促進に関する実験とその結果

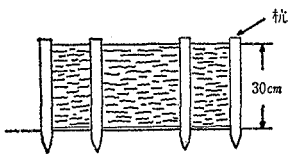
海岸防風林の内陸に対する種々の保護効果は、すでにひろく認識されているところであり、防風林の保護と維持に対する必要性は、今さらいうまでもないところである。

しかして、防風林の取り扱い方は、その本来の目的である防風機能を完全にするため、まづそれ自体を風害に強いものとするのが要求され、同時にそれが防風機能を十分に発揮することを期待される。このような観点に立って、皆伐林と択伐林の風害に対する抵抗力を比較した場合、一般に択伐林がより有利であるといわれ<sup>(140)</sup>、また現実、その経営面から見ても、この場合、択伐林が実際問題として、もっとも好ましいものといえよう。とすれば、その林地における天然生稚樹の発生への期待はきわめて強いものといわねばならない。

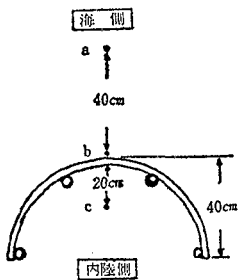
しかしながら、すでに触れたように、海岸地帯のマツ林について観察した場合、その稚樹の発生は、必ずしもつねに期待しようとは限らず、むしろ場合によっては、全く天然生稚樹の発生をみない林分すらあり、稚樹の発生をつねに確実にしめるための研究が、このような実際問題のうえからもきわめて重要視される。

すなわち、筆者は上述のような見地に立って、実際の林地につき、それまでほとんど天然生稚樹の発生をみなかった地点に対し、稚樹の発生を促すための実験をおこなうこととした。

試験地は、福井営林署管内、北瀧国有林、第1林班の日本海に面する堆砂地で、平均樹令30年生のクロマツ林である。この地点附近一帯は、堆砂地であるため、とくに風雨による地床の侵蝕がはなはだしく昭和32年より山腹保護工をおこない、現在一応の安定をみている。とはいえ、強い潮風にさらされている林内の植生状態ははなはだ不良で、とくにクロマツの後継稚樹は全く皆無であり、その林分の更新に関しては種々苦心を重ねてきた。このような状況下において、天然生稚樹の発生をうながすための実験をおこなった。すなわち、昭和34年6月、上述のような現況下の試験林に、適当な間隔を保って、第15図に示すような、風よけ施設(コモ工と仮称する)をおこなった。(写真19参照)これは、汀線に対して、凸半円形に、高さ約0.3m、半円の延長約1.5mの筵の「ついたて」をしつらえたものである。ついたての材料としては、このほかに「よしず」を利用する方法<sup>(141)</sup>なども考えられるが、「よしず」ではこのような目的にはあまり効果が大きくないものとみとめたので、筵を使用することとした。地表に対する管理は特別にはおこなわず、他の林地と全く同様の取りあつかいとす。その結果この「コモ工」を施した風下には漸次クロマツ稚樹が発生し、同時に雑草も次第に生えてくるのがみとめられた。(写真20参照)



15-a 立面図



15-b 平面図

第15図 風よけ施設(コモ工) 工作図

をとおこなった。(写真19参照)これは、汀線に対して、凸半円形に、高さ約0.3m、半円の延長約1.5mの筵の「ついたて」をしつらえたものである。ついたての材料としては、このほかに「よしず」を利用する方法<sup>(141)</sup>なども考えられるが、「よしず」ではこのような目的にはあまり効果が大きくないものとみとめたので、筵を使用することとした。地表に対する管理は特別にはおこなわず、他の林地と全く同様の取りあつかいとす。その結果この「コモ工」を施した風下には漸次クロマツ稚樹が発生し、同時に雑草も次第に生えてくるのがみとめられた。(写真20参照)

稚樹の発生数は各「コモ工」ケ所によって区々ではあるが、5ケ所の平均で7個体であった。なお、この「コモ工」をおこなった地点における土壌(表層より2cmの深さまでのあいだについて調査)の着塩量および含水量を測定した結果は第37表の如くであった。

## 3. 考 察

天然生稚樹の発生促進に対する「コモ工」の効果は、以上の結果から明瞭であるが、そのもたらす効果の直接原因は、「コモ工」によってつよい潮風の害から林地を保護し、林地表面の種子の発芽に対する微細気候的条件および発芽のための培地条件を良好ならしめるためと考える。すなわち、風よけ施設による風速の減殺効果は四手井<sup>(142)</sup>によれば、垣の直前で約60%、垣の風下では垣の高さの10倍までの地点で風速が $\frac{1}{2}$ 以下に減殺され



る。また、門田<sup>(143)</sup>によれば、高さ2mの堆砂垣を越すとくに、潮風中の塩分量はおよそ半減するという。

本実験において、「コモ工」のもつ林地土壌に対する着塩量の減殺効果に関しては、第8節において、すでに検討したように、土壌の塩分は雨水による洗除があるので、このただ1回の測定では、垣の効果を確認することは不可能であるが、しかし、垣の直前の地点（第15—b図のb点）における土壌の着塩量が、他の2点に比較して、いちじるしく多いこと（第37表参照）は注目に値する事実であり、この事実からして、「コモ工」がとくに潮風にもとづくところの、土壌に対する着塩量を少なくするための効果について、有効であることが推定される。すなわち、この「コモ工」によって風速が減殺され、同時に風による飛砂を防止することはもちろん、風によってひきおこされる蒸発作用を緩和<sup>(144)</sup>（砂面蒸発量は風速に比例するから、この場合でも蒸発に対する保護効果は相当なものであるとみてよいであろう）し、また潮風によってもちこまれる海塩の量を少なくし、培地の発芽条件を良くする。

さらに、風速の減殺効果は、単に地表面における乾燥作用を緩和するのみならず、地表下の水分条件をもよくするものとみられる。すなわち、杉ら<sup>(145)</sup>は、開放毛管水帯が砂表面を構成している場合、蒸発がさかんなときは表面が乾燥して、その蒸発面がしばしば砂層中に後退してしまい、このとき下層の毛管水の移動も停顿してしまうことを報告しているが、海岸砂地においても強風などによってその地表に極端な乾燥をもたらす場合、毛管水の地表からの後退によって、極く浅い地層では完全な乾燥状態を現出する。つまり、「コモ工」によって風速が減殺されるならば、この種の現象もほとんど回避できるであろう。

以上、林地に与えられる、種子の発芽にとって重大な妨害作用をもたらす各種の条件が、この「コモ工」によって総合的に改善された結果、稚樹の発生がみられたものと考えられる。

## 第15節 摘 要

本章では、既述の知見を基盤として、林地に対する海塩の搬入状態とアカマツおよびクロマツの天然分布との関係を、現実林について検討するべく、とくに、北陸各地の林分をとりあげて調査をおこなったが、その結果、全林分を通じて、その土壌中に含まれる塩分量は、一般に小さい値を示した。しかし、これはそれら各林分に対する海塩の搬入量がつねに少いことを意味するものではなく、すでに第3章であきらかなように、林地に搬入された海塩が、降水などによって、よく洗除されるために、ある特定の一時期についてみれば、土壌中の塩分含量が、一見、少くみえる場合のおこりうる事実と関連づけて考えるべきものであることを種々の面から吟味した。すなわち、現実林における両種の天然分布の規制条件としての海塩の土壌中における量の変動は、実際の場でも、そのときどきによって、きわめて微妙なかたをとるものであることが明らかにされた。

したがって、現実林においてみられる両種の天然分布のかたちは、両種の発芽および幼植物の生長の過程にあるそれぞれの時期と、海塩が林地に多量に搬入される機会との組み合わせの如何によって、大きく左右されるものであることが推定された。

さらに、各地の海岸林についての観察から、両種について、植栽苗木の生育はゆるぎされても、その同じ地点に必ずしも天然下種による後継樹の発生、生育が約束されないという事実を指摘し、これについて検討した結果、両種の発芽後間もない稚苗と成苗との耐塩性ならびに耐乾性を比較した場合、両種とも、成苗のもつ耐性が稚苗のそれに勝ることを確めた。これと関連して、内陸えの海塩の搬入は、主として、ある程度以上の風速をもつ海風によるため、実際に、林地に対して多量の高塩の搬入がおこなわれる場合には、当然、それにつれて、相当の風が林内にも同時に吹き込むかたちとなり、これが物理的に植物体表と地表とから水分を奪い去り、その結果、風のもたらすこの蒸発による乾燥作用と、海塩がもつ植物生理機能への阻害作用の総合的な影響として、塩害が助長される場面がきわめて多く生起するものであることが想定され、したがって、このような海風の林内への吹き込みを防ぐことにより、林内における天然生稚樹の発生に対する条件が改善できうるものと考えた。

すなわち、筆者は、このような考えから、実際の林面に対し、実験的にごく簡単な風衝施設をおこなうことに

第37表 コモ工施設地点における土壌着塩量

地点*	着 塩 量 NaCl: mg/1g(乾土)	含 水 量 (%)
a	0.23	1.9
b	1.29	1.7
c	0.29	3.5

\* 地点はそれぞれ第15図bに示すa,b,c.に相当する。

より、それまでほとんど天然生稚樹の発生がみられなかった地点に対して、多数の天然生稚樹の発生をうながすことに成功した。

以上の結果を総合して、アカマツとクロマツとが共存をゆるされる分布域における海岸地帯で、クロマツの分布がアカマツのそれを凌駕し優位を占めるのは、主として、両種の耐塩性の差異にもとづくものと考えられるけれども、一面、現実の海岸林において、種子の発芽に対し妨害的にはたらく外的条件について考えるとき、それは、単に培地の過剰塩分の存在のみではなく、多くの場合、海塩の搬入に随伴する、つよい風によってひきおこされる、植物体の表面および林地の地表面からの強制的な蒸発と、風の中に多量に含まれる海塩によってひきおこされる生理的乾燥、および塩分そのものもつ植物生理機能への本質的な妨害作用などの総合的な影響という局面で検討されるべきものである。したがって、現実林においては、そのような局面における耐塩性という点から天然分布の問題が検討されなければならないことを指摘した。

## 第6章 総括および結論

以上、各章において、アカマツおよびクロマツの天然分布に対する規制条件を、主として海塩と種子の発芽との関係から検討した。

とくに、林木が天然分布をゆるされる第1階梯としての種子の発芽とその幼苗時の生長に重点をおき、アカマツおよびクロマツの発芽過程における耐塩性の問題を中心として研究をおこなった。さらに、天然下種されたアカマツおよびクロマツ種子の発芽にあたって、その発芽床となるべき林地の土壌に対する塩分の影響、すなわち、土壌に対する着塩と、それが雨水などによって洗い流されるかたち、また、それに伴っておこる土壌コロイドの洗脱などについて検討した。

その結果、発芽床における過剰な塩分の存在は、両種の発芽に対して阻害的であることを確認し、またマツ種子の発芽生理に対する塩分の阻害機構については、とくにアカマツ種子は過剰な塩分を含む培地に置床された場合、その発芽経過にもなって、胚部に対し塩分が集積する事実をみとめ、さらに、この培地に対する過剰な塩分の存在が、発芽過程における種子の蛋白質代謝をいちじるしく攪乱する事実を認めた。

さらに、海塩の発芽に対する妨害作用は、実際問題として、海水組成分のうち、主としてNaClによることが、ほぼ明確にされた。

また、アカマツとクロマツの耐塩性の比較については、発芽の過程においても、稚苗の生育過程においても、アカマツはクロマツよりつねに耐塩性の低い事実を確めた。さらに、実際に両樹種について、海岸地帯に対して苗木の植栽は可能であっても、その同じ地点にかならずしも、天然下種による後継樹の発生が約束されない事実について検討を試み、その結果、現実林において、種子の発芽に対して妨害的にはたらく外的条件は単に塩分の存在だけではなく、多くの場合、つよい風によってひきおこされる植物の体表および林地の地表面に対する乾燥作用と、風のなかに多量に含まれてくる塩分によってひきおこされる生理的乾燥、および、塩分そのものもつ生理機能への本質的な妨害作用などの総合的な影響という点において考えなければならないとの推論に達し、この観点から、両種について、それぞれ、稚苗と成苗との耐乾性および耐塩性を検討した結果、両種とも、その耐性については、成苗が稚苗に勝ることがほぼ確められた。

以上の諸結果を総合して、現実林における発芽の状況を推測すれば、おそらく、時間的にも、地域的にも、発芽が阻害される場面は単一的な局面として把握されるべき性質のものではなく、その時、その地域に与えられる外的条件——主として、風と降水——の絶え間ないつり変りによって、たとえ同一地点でも、ある時は発芽がゆるされ、また、ある時は必ずしもそこに発芽がゆるされないということ、また、同一時点でも、ある場所では発芽がゆるされながら、他の地点では発芽をゆるされないといった現象の生起が予想される。それゆえ、両種の海岸地帯における天然分布に対する規制の局面は「静的」なものではなく、むしろ「動的」な局面としてとらえられるべきものであろう。

しかして、このような分布を規制する種々の要因の組み合わせに対して、クロマツはより耐性をもつのに反して、アカマツは耐性がひくく、その結果、海岸地帯におけるアカマツの分布が、クロマツのそれよりも、強く制

約されるかたちをとるものと考える。

もしこの推測がゆるされるならば、海岸地帯のマツ天然林のもつ令階配分は、おそらく、正常な条件下に成立する、内陸地帯のマツ天然林のもつ令階配分と比較していちじるしく不規則的であり、かつ、間歇的な令階配分状態をとるはずであり、しかもその傾向は、耐塩性のひくいアカマツの林分において、よりつよくあらわれるであろう。

したがって、現実の海岸林に対する、この令階配分の厳密な検討は、一面において両種の天然分布を規制する要因に対する検討の重要な手段となるものと考えられる。すなわち、今後の研究によって、この問題を究明する計画である。

筆者は、本研究においてえた知見を、現実林について実際に活用するための一つのところみとして、福井営林署管内の北潟国有林において、簡単な防風垣を用い、林地に対する海塩の搬入と潮風の吹きこみを防ぎ、それまでほとんど天然生稚樹の発生をみなかった林内に、クロマツの天然生稚樹の発生を促すことに成功した。

なお、海塩は、アカマツおよびクロマツの発芽ならびにその後の生育に対して直接妨害的にはたらくのみならず、林地土壌の劣悪化に対してもまた、重大な影響をもつことが考えられ、この点に関して、とくに土壌コロイドの面から検討を加え、塩水によって土壌コロイドはよく洗脱されることが確かめられ、過剰の海塩が土壌のもつ養水分の保持力を低下せしめ、これが、海岸地帯に立つアカマツないしクロマツの正常な生育を妨げる重要な一つの条件となることが想定された。

この結果から、海岸林土壌の保全に関する一つの方法として、土質改良剤などの適用の問題が考えられるが、この問題は研究結果の実際面に対する応用という立場からみて、今後に残された重要な問題の一つであると考えられる。

## 文 献

- (1) 林 弥栄：日本産重要樹種の天然分布，針葉樹，第2報，林試報，(55)，87-140，149-175 (1952)。
- (2) 岡田 要 他7名篇，生物と環境，現代生物学講座(5)，244-245，東京，共立出版 (1958)。
- (3) ————：同上，246-247。
- (4) 河田 杰：森林生態学講義，156，163，東京，養賢堂 (1932)。
- (5) 中村賢太郎：育林学原論，72，東京，地球出版 (1950)。
- (6) 原田 泰：森林気象学，171，東京，朝倉 (1952)。
- (7) 有賀久雄：遺伝学，254，東京，産業図書 (1949)。
- (8) 辻 正，(及び中村賢太郎)：敦賀市松原産マツの葉の解剖学的研究，日林誌，25(8)，13-16 (1945)。
- (9) 岩村通正：アカマツ，クロマツ種間雑種における形態学上の特性〔I〕，岡山大農学報，(17)，19-25 (1961)。
- (10) ————：アカマツ，クロマツ種間雑種における形態学上の特性について，日林関西支講，(10)，59 (1960)。
- (11) 岩田利治，草下正夫：邦産松柏類図説，156，東京，産業図書 (1952)。
- (12) 浅野二郎，吉田重幸：沿岸地域に於けるアカマツ及びクロマツの分布に関する調査〔I〕，於昭和36年度日本造園学会春季大会発表。
- (13) 林 弥栄：前出，150。
- (14) 河田 杰：前出，366-369。
- (15) 米田茂男：塩害と土壌〔3〕，農及園，33(9)，1337-1342 (1958)。
- (16) 浅野二郎，吉田重幸：アカマツの耐塩性について，日林関西支講，(10)，77-78 (1960)。
- (17) 伊藤悦夫，稲川桓一：クロマツの耐塩性に関する若干の実験的考察，静岡大農研報，(1)，55-64 (1951)。
- (18) 中山 包：発芽生理学，5，東京，内田老鶴圃 (1960)。
- (19) COLLINS, E. J.: The structure of the integumentary system of the barley grain in relation to localized water absorption and

- semi-permeability, *Ann. Bot.*, 32, 381-414 (1918).
- (20) SHULL, C. A.: Semipermeability of seed coats, *Bot. Gaz.*, 56, 169-197 (1913).
- (21) MAGISTAD, O. C., ET AL.: Effect of salt concentration, kind of salt, and climate on plant growth in sand cultures, *Plant Physiol.*, 18, 151-166 (1943).
- (22) 岩城鹿十郎: 水稻の塩害に関する研究, 愛媛大紀要(農学), 2(1), 11, 25 (1956).
- (23) 手島寅雄: 栽培学 種子編, 74-75, 東京, 養賢堂 (1954).
- (24) HASSAN, M. N., OVERSTREET, R.: Elongation of seedlings as a biological test of alkali soils: I. Effects of ions on elongation, *Soil Sci.*, 73, 315-326 (1952).
- (25) 下瀬 昇: 作物に対する塩素の生理作用(第1報), 水稻体内における窒素の形態に及ぼす塩化物の影響, 土肥誌, 27(5), 193-196 (1956).
- (26) ———: 同上, (第3報), 水稻無機成分吸収に及ぼす塩化物の影響, 土肥誌, 27(8), 309-311 (1956).
- (27) 米田茂男: 前出, [2], 農及園, 33(8), 1177-1180 (1958).
- (28) 大後美保: 農作物の塩害に対する研究[1], 気象集誌, 第2輯, 15(2), 81-95 (1937).
- (29) 肥後 純, 吉田啓一: 黒松稚苗の成長に及ぼす海水の影響, 日林誌, 32(4), 114-115 (1950).
- (30) BROYER, T. C., ET AL.: Chlorine—a micronutrient element for higher plants, *Plant Physiol.*, 29, 526-532 (1954).
- (31) 米田茂男: 前出, [1], 農及園, 33(7), 1028-1032 (1958).
- (32) HAYWARD, H. E., WADLEIGH, C. H.: Plant growth on saline and alkali soils, *Adv. in Agron.*, 1, 1-38 (1949).
- (33) 久保彰治, 堤 忠一: 米粒に含まれる塩素の粒内移動 I, 農化誌, 33(6), 421-424 (1959).
- (34) 久保彰治, 藤田洋子: 同上, II, 農化誌, 33(6), 424-427 (1959).
- (35) L. リゾン(今泉 正 訳): 細胞化学および細胞化学, 182-183, 東京, 白水社 (1954).
- (36) 萩野 堅: 硫酸イオン, 塩素イオンの定量法に関する最近の文献, 分析化学, 5(7), 426-430 (1956).
- (37) 浅岡久俊: 無機成分定量のための新しい組織灰化法, 化学の領域, 12(4), 72-73 (1958).
- (38) PIPER, C. S.: Soil and plant analysis, 271-275, New York, Interscience Publ. Inc. (1950).
- (39) 上野景平: キレート滴定法, 123-127, 東京, 南江堂 (1956).
- (40) 奥田 東編, 植物栄養生理実験書, 177-182, 東京, 朝倉 (1953).
- (41) ———, 同上, 221.
- (42) 下瀬 昇: 作物の塩害生理に関する研究, 岡山大土肥教室報告, (7), 29-44 (1960).
- (43) 中山 包: 前出, 278.
- (44) 伊藤悦夫, 稲川悟一: 前出.
- (45) 岡崎文彬編, 林木の生理, 116-134, 東京, 地球出版 (1960).
- (46) 奥田 東編, 前出, 329-347.
- (47) 佐竹一夫: クロマトグラフィー, 67-113, 東京, 共立出版 (1955).
- (48) 桑田 智: 続クロマトグラフィー I, 174-244, 東京, 広川 (1955).
- (49) 浅野二郎: クロマト種子のアミノ酸について(予報), 日林関西支講, (5), 43-44 (1955).
- (50) 柴田村治: ペーパークロマトグラフ法の実際, 74-77, 東京, 共立出版 (1953).
- (51) 浅野二郎, 吉田重幸: アカマツ種子中のアミノ酸について II, 日林関西支講, (7), 29-30, (1957).
- (52) ———, ———: 同上, I, 日林関西支講, (6), 3-4 (1956).
- (53) ———, ———: アカマツ及びクロマツの耐塩性について, 日林関西支講, (9), 63 (1959).
- (54) ———, ———: アカマツの耐塩性について, 日林関西支講, (10), 77-78 (1960).
- (55) フィッシャー(石田周三, 大西英爾訳): 蛋白質代謝, 70-102, 東京, 三共出版 (1957).
- (56) 下瀬 昇: 前出, 岡山大土肥教室報告, (7), 56.
- (57) 関西電力中央給電指令所: 台風と塩害について, 塩風害シンポジウム資料, (1957).
- (58) 北 熊, 綾 武: 強風による海水塩分の散布, 研究時報, 11(5), 373-376 (1959).
- (59) WOODCOCK, A. H., ET AL.: Giant condensation nuclei from bursting bubbles, *Nature*, 172, 1144-1145 (1953).

- (60) KNELMAN, F. : Mechanism of the bursting of bubbles, *Nature*, 173, 261 (1954).
- (61) 多田利義 : 昭和35年8月31日仙台市周辺の送電線塩害について, 塩風害シンポジウム資料, (1961).
- (62) 飯塚 肇, 他3名 : 雛形防風林試験報告〔1〕, 防風林による海風中の塩分減少効果に関する研究, 林試報, (45), 1-15 (1950).
- (63) 松平康男 : 潮風について, 海洋の科学, (3), 393-401 (1943).
- (64) 御前崎測候所 : 空中塩分について, 気象要覧, (457), 880-881 (1937).
- (65) 碍子塩塵害対策専門委員会 : 送電線路の碍子塩塵害対策 (II), 電気協同研究, 15 (2), 25 (1960).
- (66) 本田卓郎 : 庄内の塩風と送電線塩害について, 塩風害シンポジウム資料, (1961).
- (67) 門田正也 : 海岸附近に於ける潮風中の塩分分布に就て. 日林誌 31 (5), 25-28 (1949).
- (68) 碍子塩塵害対策専門委員会 : 前出, 22-23.
- (69) ——— : 同上, 23.
- (70) 仰木重蔵他6名 : 伊勢湾台風下における三重, 愛知両県下の海岸防災林の効果と森林の潮風害に関する調査報告, 林試報, (127), 1-60 (1961).
- (71) 神戸海洋気象台 : 降水分析, 気象要覧, (449)-(457), (1937).
- (72) ——— : 同上, (457), 878 (1937).
- (73) 中央気象台 : 室戸台風調査報告, 中央気象台集報, 第9冊, 124 (1935).
- (74) 東北電力K.K. 東新潟変電所 : 東新潟SS附近降雪の含塩測定について, 塩風害シンポジウム資料 (1961).
- (75) 沼田大学 : 森林保護学, 69-87, 東京, 朝倉 (1950).
- (76) FRITZSCHE, K. : Physiologische Wind-Wirkung auf Bäume, 27, Berlin, Neuman Neudamm (1929).
- (77) 京都大学農芸化学教室 : 農芸化学実験書, (1), 104-107, 東京, 産業図書 (1957).
- (78) 岩城鹿十郎 : 前出.
- (79) 米田茂男 : 前出 (1)-(3), 農及園, 33 (7)-(9), (1958).
- (80) 下瀬 昇 : 前出, 岡大土肥教室報, (7).
- (81) 宮崎 紳 : 四国森林植生と土壌形態との関係に就て, 211-212, 東京, 興林会 (1942).
- (82) 河田 杰 : 前出, 52-53.
- (83) 宮崎 紳, 佐藤 享 : 苗木の育て方, 5-25, 東京, 地球出版 (1959).
- (84) 坂口勝美 : 育苗, 119-123, 東京, 朝倉 (1957).
- (85) 奥田 東 : 土壌肥料綜説, 7-8, 東京, 養賢堂 (1959).
- (86) 田町正啓 : 土壌及び堤体内における浸透に関する理論的考察, 九大農工研資料, (51), 9-12 (1957).
- (87) 杉 二郎, 寺川 潔, 岡 光蔵 : 塩田砂の滲透力及毛管力に就て, 研究速報(専売中研塩研究部), (13), 24-25.
- (88) 農業土木学会編, 土地改良の方向, 129-134, 東京, 農業土木学会 (1961).
- (89) KEEN, B. A. : A note on the capillary rise of water in soils, *J. Agr. Sci.*, 9, 396-415 (1918-1919).
- (90) 杉 二郎, 寺川 潔, 岡 光蔵 : 前出, 1-17.
- (91) 田町正啓, 土田武夫 : 天然土壌の滲透係数測定法に就いて, 農業土木研究, 8 (4), 1-9 (1936).
- (92) 大杉 繁 : 一般土壌学, 412, 東京, 朝倉 (1948).
- (93) 杉 二郎, 斎藤孝平, 土井睦子 : 塩田地盤の蒸発に関する研究〔I〕, 着塩に関する研究, 研究報告(日本専売公社中央研究所), (83), 65-73 (1953).
- (94) 日本専売公社塩研究部 : 入浜塩田の煤砂蒸発について, 研究速報, (30), 104-130 (1949).
- (95) 杉 二郎, 斎藤孝平, 土井睦子 : 前出, 72.
- (96) 東北電力K. K. 東新潟変電所 : 前出.
- (97) 高橋健治 : 台風に依る塩風害の一考察〔1〕, 植及動, 9 (8), 115-120 (1941).
- (98) 平田 威 : 澎湖島の鹹雨について, 気象集誌, 32年 (1), 5-9 (1913).
- (99) 高橋基生 : 品川台場及び新設築堤に於ける植物生態学的研究, 植及動, 5 (4), 785-788 (1937).
- (100) LUNDEGARDH, H. : Klima und Boden, in ihrer Wirkung auf Pflanzenleben, 191, Jena, Gustaf Fischer (1949).
- (101) 大後美保 : 農作物の塩害に対する研究〔I〕, 気象集誌, 第2輯, 15 (2), 81-95 (1937).
- (102) 北田道男, 宮本正明 : 塩風害に関する局地予

- 報, 塩風害シンポジウム資料, (1961).
- (103) 多田利義: 前出。
- (104) 高橋健治: 前出, [II], 植及動, 9 (9), 219-222 (1942)。
- (105) 三瓶次郎: 送電線の塩害予報について, 産業気象調査報告書, 22 (1), (電力気象連絡会東北地方委員会誌別冊), (1958)。
- (106) 碓子塩塵害対策専門委員会: 前出, 1-121。
- (107) 門田正也: 防潮林の潮風濾過について (予報), 日林誌, 31 (7) (8) (9) 合併号, 8-12 (1949)。
- (108) ——: 海岸附近に於ける潮風中の塩分分布について, 日林誌, 31 (5), 25-28 (1949)。
- (109) 荒川秀俊: 風に対する海岸の影響, 気象集誌第2輯, 15 (12), 532-534 (1937)。
- (110) 大杉 繁: 前出, 270-275。
- (111) 奥田 東: 前出, 55-57。
- (112) BAVER, L. D.: Soil physics, 2nd Ed., 50-54, New York, John Wiley & Sons (1948)。
- (113) 大杉 繁: 前出, 542-543。
- (114) ROBINSON, O. W.: A new method for the mechanical analysis of soil and other dispersions, *J. Agr. Sci.*, 12, 306-321 (1922)。
- (115) 笹川久吾: 電子顕微鏡, 173-182, 205, 東京, 本田書店 (1951)。
- (116) 農林省山林局: 防風林, 211-217 及び附図, 東京, 山林局 (1935)。
- (117) 金沢営林署: 砂浜国有林海岸砂防事業の概要, 金沢, 金沢営林署 (1952)。
- (118) 辻 正 (及び中村賢太郎): 前出。
- (119) 原田 泰: 前出, 225-226。
- (120) 農業技術協会: 積雪累年気象表, 冷害気象長期予報調査資料, 4, (1954)。
- (121) 中央气象台: 地方別日本気候表, (1950)。
- (122) 金沢営林署: 前出, 10, 及び附表。
- (123) 東北電力K.K. 東新瀉変電所: 前出。
- (124) 気象庁: 気象庁月報, (1)-(12), (1960)。
- (125) 気象庁: 気象庁観測技術資料, (42), (1957)。
- (126) 国鉄東京給電管理事務所: 国鉄電気施設の塩害と対策, 塩風害シンポジウム資料, (1961)。
- (127) 中部電力K.K.: 中部電力における塩塵害の様相とその対策について, 塩風害シンポジウム資料, (1961)。
- (128) 日本林学会関西支部, 他, 編: アカマツに関する論文集, 38-58, (1954)。
- (129) N. A. マクシーモフ (野口弥吉監修): 植物と水 I, 221-222. 東京, 共学館 (1956)。
- (130) 坂村 徹: 植物生理学, 181-187, 東京, 養賢堂 (1943)。
- (131) N. A. マクシーモフ (野口弥吉監修): 前出, 213-253。
- (132) CRAFTS A. S., CURRIER, H. B., STOCKING, C. R.: Water in the physiology of plants, 81-109, Waltham, *Chronica Botanica* (1949)。
- (133) 北大理学部植物生理学教室編, 植物生理学実習, 42-47, 東京, 養賢堂 (1955)。
- (134) 坂村 徹: 植物細胞滲透生理, 10-12, 28-48, 東京, 養賢堂 (1952)。
- (135) 岡崎文彬, 四手井綱英編, 林業実験実習書, 246, 東京, 朝倉 (1956)。
- (136) 岡崎文彬編, 前出, 10-16。
- (137) 鮫島実三郎: 物理化学実習法, 65-71, 東京, 裳華房 (1961)。
- (138) 立花太郎, 古賀正三編, 電気技術ハンドブック, 76-80, 165-175, 東京, 化学同人 (1960)。
- (139) 伊藤悦夫, 稲川悟一: 前出。
- (140) 農林省山林局: 前出, 94-95。
- (141) 富樫兼次郎: 管内の海岸砂防を繞って(3), 林曹会報, (217), 17-37 (1935)。
- (142) 岡崎文彬, 四手井綱英編, 前出, 244。
- (143) 門田正也: 前出。
- (144) 秋葉満寿次: 砂面蒸発量と風との関係, 農土木研, 5 (3), 285-306 (1933)。
- (145) 杉 二郎, 斎藤孝平, 土井睦子: 前出。

## A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside Areas, giving due Consideration to the Salt Resistance of the Seeds

Jiro ASANO

### (Summary)

The author has dealt with the problems on the formation of the forests of *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. and *Pinus Thunbergii* Parlat., which are under peculiar environmental conditions (mainly: the existence of a large quantity of salt in the air as well as in the soil, and the prevailing sea wind), giving due consideration to the salt resistance of their seeds and seedlings. At the same time, he has investigated the relation between the sea-water salt and the forest soil on the seaside area which is used for the cultivation of the seedlings.

Generally, the natural distribution of a plant is controlled by temperature, water, and soil. Of *P. densiflora* and *P. Thunbergii* no exception may be made, and their natural distribution is, on the whole, controlled by temperature and water. *P. densiflora* generally occupies wider area of the distribution in most cases than *P. Thunbergii*, but occasionally we can see *P. Thunbergii* gain an advantage over *P. densiflora* in a limited part, especially on seaside areas. It proves that the distribution is, on one hand, controlled by temperature and water on the whole, but on the other hand it seems to be controlled by a peculiar environmental condition on seaside areas. This controlling effect of a peculiar environmental condition seems to occur in the areas where annual average temperature is between 13°C and 15°C, and therefore, the distribution areas discussed in this paper are limited to these areas.

First of all, to investigate the problem, the author saw how germination of both species occurred under existence of excess salt in the soil, and verified the excess salt acted more detrimentally to the germination of *P. densiflora* than *P. Thunbergii*, and further verified that among the components of the sea-water salt, NaCl played the most important role concerning the detrimental function.

Then the author could verify the facts that salt was accumulated in the embryo in the course of seed germination, especially in *P. densiflora*, and also excess salt in a cultivating soil disturbed remarkably the protein metabolism of seeds in their germinating process. From these results, it was inferred that the mechanism, in which existence of excess salt checked germinating function of seeds, involves two agencies; namely the detrimental action to the physiological function which was caused, in accordance with water absorption for germination, by the accumulation of Cl' into the embryo, and the physiological dehydration of seeds which was caused by salt in the cultivating soil.

Regarding salt enduring capacity, the author verified that *P. densiflora* was always smaller in capacity than *P. Thunbergii*, in the process of seed germination as well as in the growing process of seedling.

Viewing from these results, and considering that the probability of germination, as the first step for the natural distribution, has some relation to the existence of the sea-water salt in soil, the author presumes a condition in which *P. Thunbergii* gains an advantage over *P. densiflora* in a limited area discussed in this paper. In other words, it can be pointed out that the form of the natural distribution of *P. densiflora* and *P. Thunbergii* in an actual seaside area is greatly controlled by the quantity of the sea-water salt which is conveyed from the sea to a forest land.

How is the sea-water salt conveyed to a forest land on seaside areas? Under what condition are the distribution and shift of sea salt? These are important problems on the investigation of the actual natural distribution of *P. densiflora* and *P. Thunbergii* from the aspect of their salt resistance.

Much of the sea-water salt, which is brought in from the sea to a seaside area, is chiefly carried by the wind under normal climatic conditions, and therefore the quantity of the sea-water salt brought in is greatly influenced by the speed and direction of the wind. Also it is verified that the conveyed salt is very easily washed away by water. This effect of washing the sea-water salt away by water is clearly seen in the salt stuck on needle leaves of pine, provided there is a precipitation of about 30mm per day at least. For the salt in the soil, the washing effect differs according to how water comes into the soil. Water comes from the surface of the soil, or it comes from the lower layer of the soil. And it comes suddenly, or it comes slowly at a certain speed, even in the case when the same quantity of water comes from the surface.

The author made clear the facts that aspects of washing salt away from soil differed remarkably according to the kind of soil. And it was verified by an experiment using models of soil layer that the washing effect was maximum when water was poured from the surface of soil, at a moderate speed.

The amount of salt, contained in a forest soil on seaside areas, is always changing even at the same place. However, an observation in the long run shows that the nearer to the coast line the place is, the larger the amount of salt is, and vice versa. And it was made clear that the nearer to the coast line, the wider the fluctuation of the amount of salt was. From these facts, together from the facts that salt is detrimental to the germination of both pines and it is more detrimental to *P. densiflora* than to *P. Thunbergii*, it would be assumed that the nearer to the coast line, the more the probability in which the germination of pine seeds, especially of *P. densiflora*, is checked.

With this assumption in mind, the author made a survey on the actual forests of various parts in Hokuriku district, in order to investigate the relation between the sea-water salt conveyed to forest lands and the natural distribution of both pines. The result was that the amount of salt contained in the soil was generally small throughout the various forests surveyed.

However this result does not simply mean that the amount of salt conveyed to these various forests is always small, but this should be considered in connection with a case in which the amount of salt in soil is seemingly small at a specific time, because the conveyed salt to a forest land is washed away by precipitation.



This will explain that the quantity of the sea-water salt, which is a factor in controlling the natural distribution of *P.densiflora* and *P.Thunbergii*, fluctuates very subtly from time to time. Hence it is inferred that the form of natural distribution of both pines is greatly affected by the combination of the time when the seeds are in germinating process and the seedlings are in growing process, and of the chance when the sea-water salt is conveyed to a forest in large quantities.

Then the author compared the salt resistance of younger seedlings just after germination with grown seedlings, in order to investigate the fact that the occurrence and growth of the second generation by natural seed-shedding were not always promising just at the point where the growth of planted seedlings was quite possible, as described from the surveys over various parts on the seaside area on both pines, and found out the grown seedlings were more resistible than the young for both of the species.

In conjunction with this, the author assumed that the conveyance of the sea-water salt into a real forest was in many cases caused by the sea wind that had a certain speed, and that much sea-water salt conveyed into a forest land meant considerable winds blown into the forest, which physically took off the moisture from the surface of the plant and soil, and consequently, they inflicted salt damage very often by intensifying physiological effect of salt.

Therefore, it is considered that conditions for regeneration by natural seed-shedding can be improved by preventing the sea wind from blowing into forests.

On the basis of this idea, the author started an experiment of preventing the sea wind at a real seaside forest (The first division, Kitagata national forest, Fukui administrating station), where scarcely any regeneration of natural seedling was seen, and succeeded in growing a number of natural seedlings there.

Collecting all the above-mentioned results, the author considers that, within the seaside area where *P.densiflora* and *P.Thunbergii* can coexist, the reason, for which the distribution of *P.Thunbergii* gains over that of *P.densiflora*, is mainly due to the difference of the salt resistance of the two pines. But, on the other hand, in the real seaside forests, outer condition that works obstructively to seed germination should not be understood only from the single problem of excess salt in a cultivating soil, but it should be considered collectively even from other aspects, such as the physical desiccation on the surface of a plant and on the ground surface of a forest land which is caused by a strong wind that conveys the sea-water salt, the physiological dehydration caused by salt contained in a wind in a large quantity, and the substantially detrimental action of salt to physiological function of plants. The author clearly pointed out that the problem of natural distribution should be investigated from the view point of the salt resistance in conjunction with other aspects.

Then the author inquired into the situation of seed germination in real seaside forests, taking into account the environmental conditions on seaside areas, putting all above-mentioned results together, and made the following inferences. The conditions in which the seed germination is obstructed should not be understood as characterized by any single factor, in relation to time and place. Rather, depending upon ever changing

outer conditions (chiefly, wind and precipitation), the germination occurs at one time but it doesn't at another time even at the same place, and it occurs at one place but not at another place even at the same time. That is, the outer conditions which control the natural distributions of both species of pine on seaside areas should not be understood as static conditions, but should be comprehended as dynamic ones. Under these combinations of factors which control the natural distributions, *P. Thunbergii* has more enduring capacities than *P. densiflora*. Hence, on seaside areas, the distribution of *P. densiflora* is checked more strongly than that of *P. Thunbergii*.

From these inferences, the author pointed out that the age gradation of natural pine forests on seaside areas was perhaps very irregular and intermittent, compared to the age gradation of natural pine forests on inland areas under normal conditions, and this tendency would be more apparent in the forest of *P. densiflora* which had a smaller capacity to endure salt.

It was considered that the sea-water salt not only caused direct obstruction to the germination and the succeeding growth of *P. densiflora* and *P. Thunbergii*, but also was quite influential in worsening the forest soil. Concerning this problem, which was associated with colloids in soil, the author observed that the colloids in soil could easily be leached away with salt water, and on the basis of this fact, pointed out that excess salt lowered soil's ability to retain nutrients and water, and that this became one of the important factors which hindered a normal growth of the two species of pine on seaside areas.

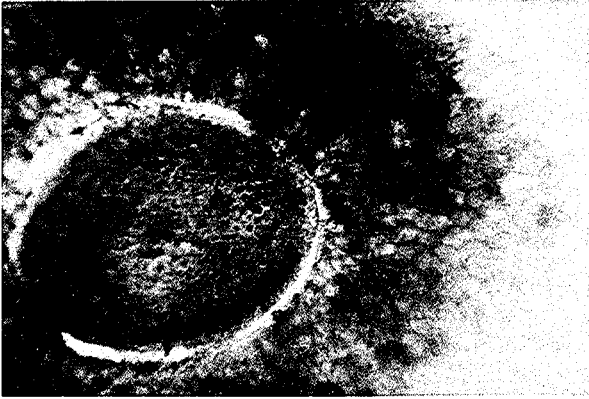


写真 1 アカマツ 置床前 (横断)

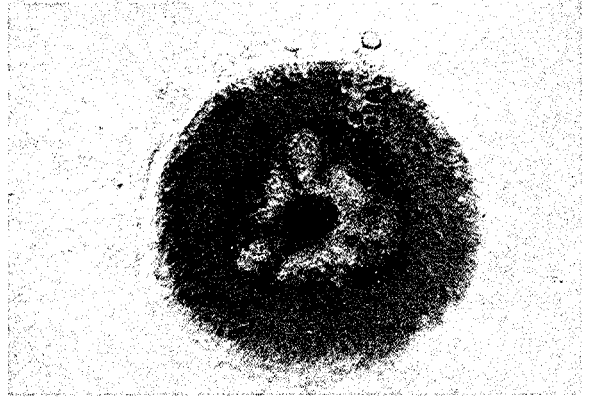


写真 4 アカマツ 芽長2.0cm 蒸溜水置床 (横断)

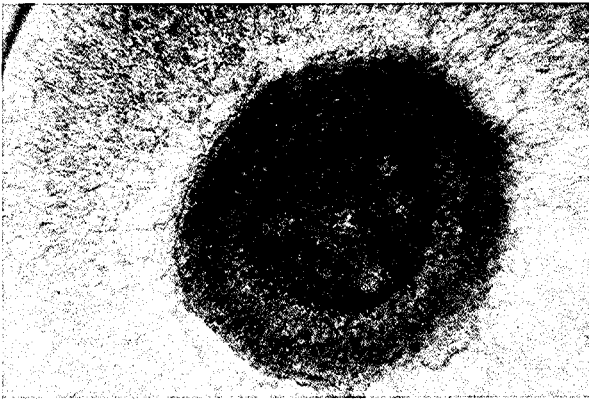


写真 2 アカマツ 芽長0.5cm 蒸溜水置床 (横断)

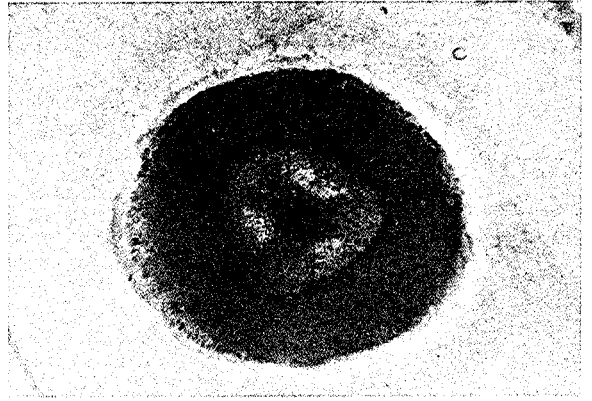


写真 5 アカマツ 芽長2.5cm 蒸溜水置床 (横断)

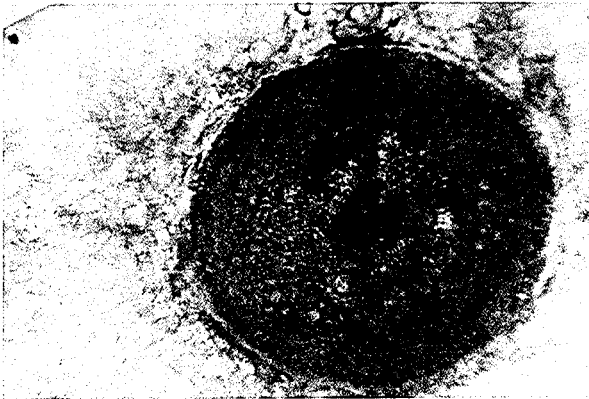


写真 3 アカマツ 芽長1.5cm 蒸溜水置床 (横断)



写真 6 アカマツ 芽長3.5cm 蒸溜水置床 (横断)

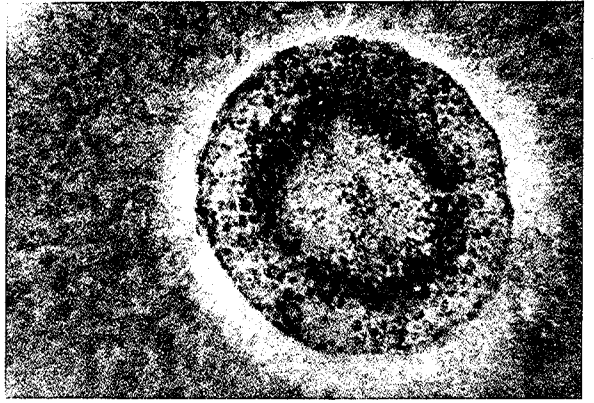


写真 8 アカマツ 芽長1.0cm  
(海水90:水10)に置床 (横断)

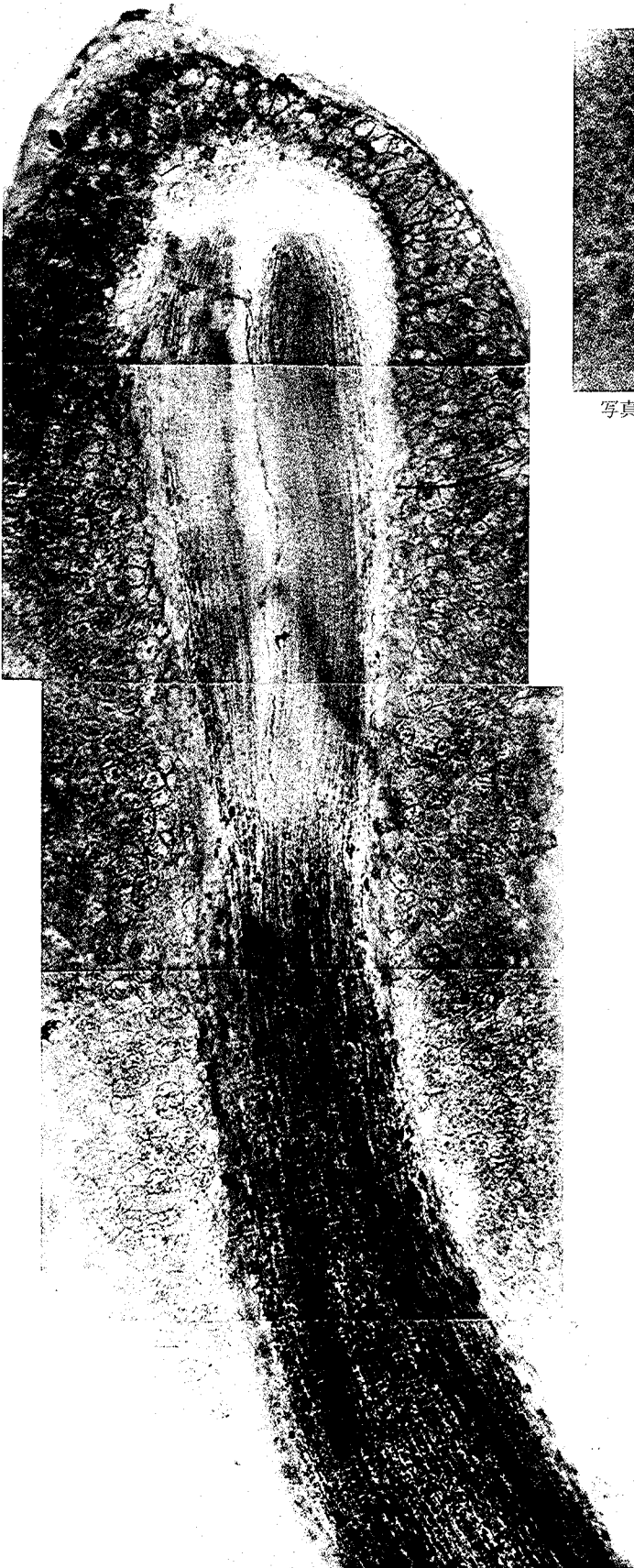


写真 7 アカマツ 芽長1.0cm  
蒸溜水置床 (縦断)

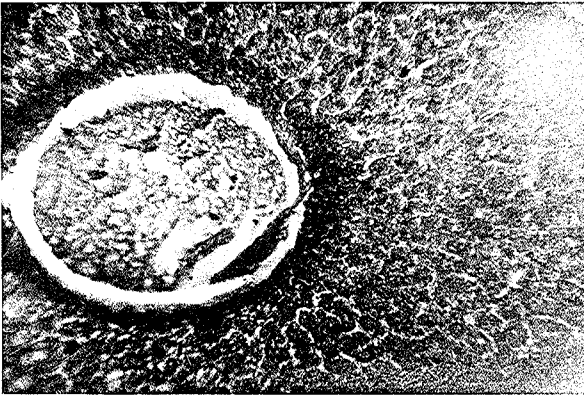


写真 9 クロマツ 置床前 (横断)

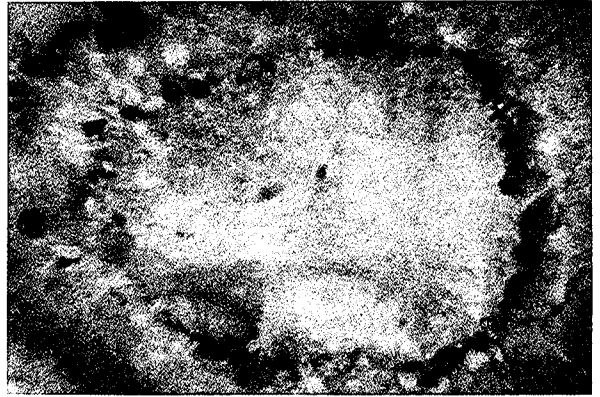


写真 12 クロマツ 芽長1 0cm (海水90:水10)に置床 (胚部横断)

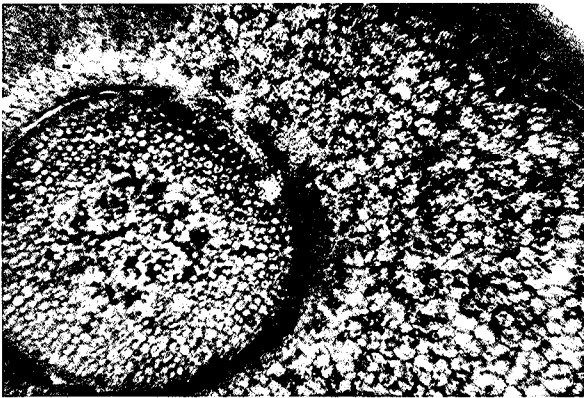


写真 10 クロマツ 芽長0 5cm 蒸溜水置床 (横断)



写真 11 クロマツ 未発芽 (海水90:水10)に置床 (横断)

写真 1~12 の解説

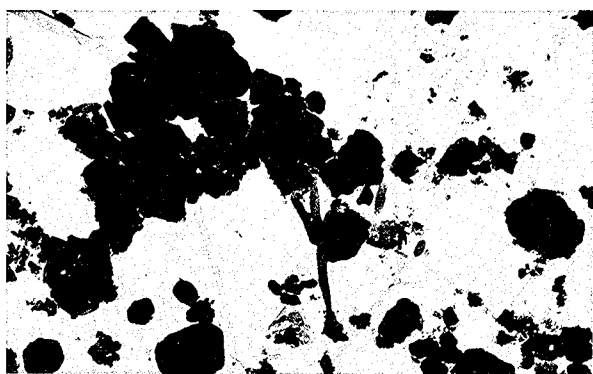
写真 1~8 はアカマツ種子中の塩分分布を  
写真 9~12 はクロマツ種子中の塩分分布を示す。

図中、黒色の小さな点として見られるものが塩分で、アカマツでは、主として胚軸および子葉の部分にこの小点が集っている状態がみとめられる。

これに対し、クロマツでは海水中で発芽した 写真12 に示す試料のほかは、この小点を確認できない。

写真 7 はアカマツ種子の縦断で、胚軸の部分に小点がよく見られる。これによりClの局在位置が確認できる。

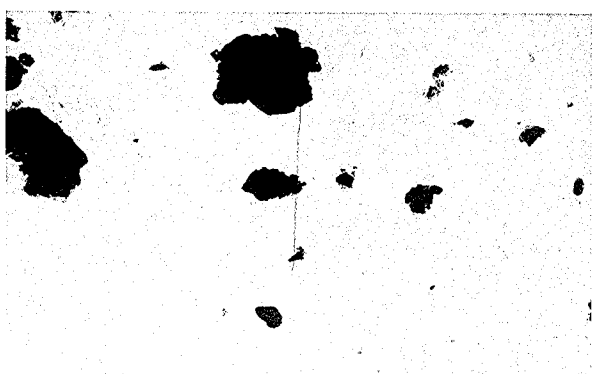
写真 1~6 および 写真9~11 はアグファカラーネガフィルムを用い、6 000ケルビンの人工光により撮影。写真 7, 8 12 はフジネオパンFフィルムを使用。



13-(1) 深さ 0cm



13-(5) 深さ 40cm



13-(2) 深さ 10cm



13-(3) 深さ 20cm



13-(4) 深さ 30cm

写真 13 土壤コロイドの電子顕微鏡による観察

〔 壤土に  $H_2O$  300ml. 滴下処理  
深さ---土層の表面を基準とした試料採取  
の位置を示す 約 $\times 3,000$  〕

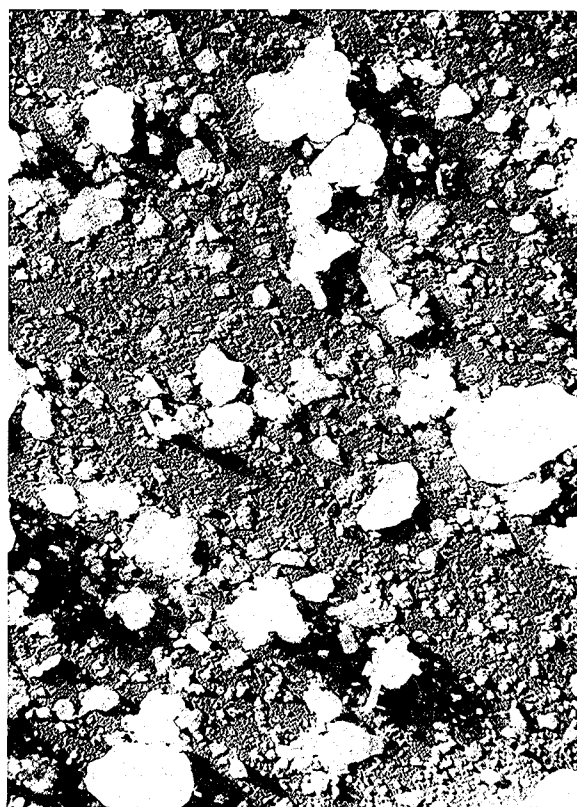
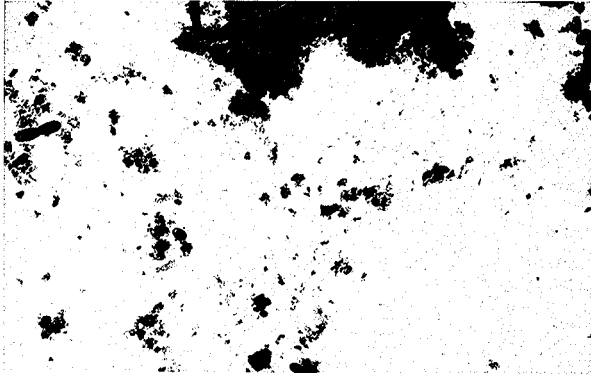
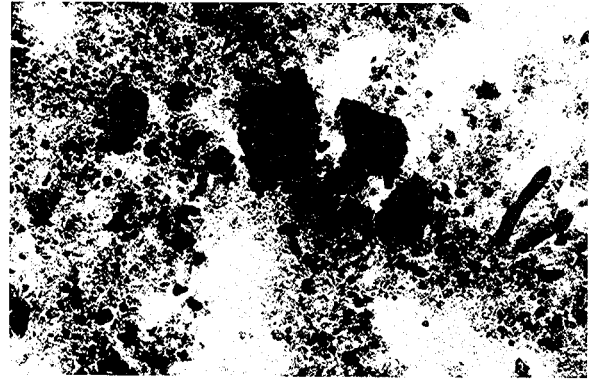


写真 15 土壤コロイドの電子顕微鏡による観察

〔 壤土に 0.1N NaCl 300ml. 滴下処理  
深さ 10cm 約 $\times 10,000$  〕



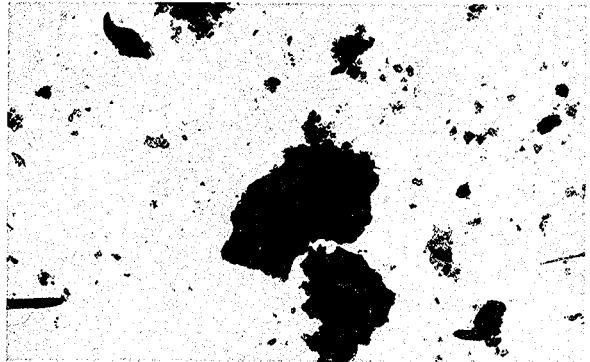
14-15) 深さ 40cm



14-(1) 深さ 0cm

写真 14 土壤コロイドの電子顕微鏡による観察

〔 壤土に 0.1N NaCl 300ml 滴下処理  
深さ……土層の表面を基準とした試料採取  
の位置を示す 約×3,000 〕

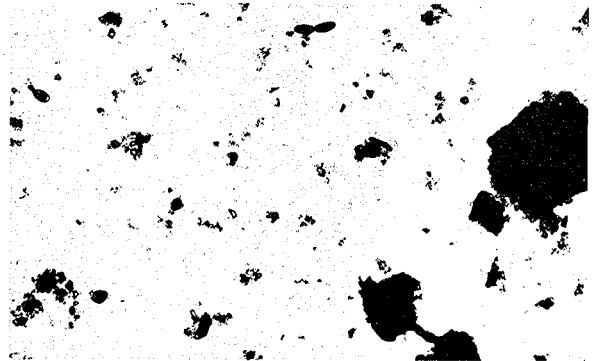


14-(2) 深さ 10cm

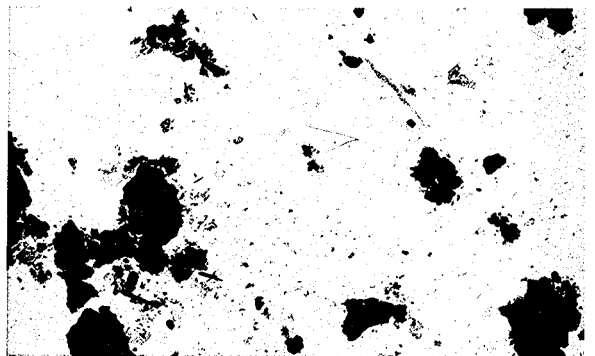


写真 16 土壤コロイドの電子顕微鏡による観察

〔 壤土に 0.1N NaCl 300ml. 滴下処理  
深さ 30cm 約×10,000 〕



14-(3) 深さ 20cm



14-(4) 深さ 30cm

写真 17 海岸林における塩害の発生現況  
(北潟国有林)



写真 18 潮風の吹きあげ状況  
(北潟国有林附近にて)

写真 19 試験林内における  
コモ工施設状況



写真 20 コモ工による天然稚樹  
の発生状況



## 香川大学農学部紀要

- 第1号 幡 克美：アカマツ材の成分並びにパルプ化に関する研究（1953年3月）  
 第2号 内藤 中人：植物生長ホルモンに関する植物病理学的研究 特に植物病原菌に及ぼす影響について（1957年10月）  
 第3号 松沢 寛：アオムシコマユバチの生態に関する研究（1958年3月）  
 第4号 梶 明：和紙原料の醗酵精練に関する研究（1959年3月）  
 第5号 森 和男：傾斜地蜜柑園経営の構造分析（1960年3月）  
 第6号 玉置 鷹彦：ガラク並びに池泥の研究（1960年3月）  
 第7号 上原 勝樹：傾斜地開発利用に関する物理気象的研究（1961年3月）  
 第8号 桑田 晃：オクラとトロロアオイとの種間交雑およびそれらより育成された種々の雑種ならびに倍数体に関する研究（1961年9月）  
 第9号 中 潤三郎：甘藷の生育過程に関する作物生理学的研究（1962年3月）  
 第10号 斎藤 実：香川県及び北愛媛県の地質について（1962年3月）（英文）  
 第11号 小杉 清：グラジオラスの生産と開花に関する研究（1962年9月）（英文）  
 第12号 吉良 八郎：貯水池の滞砂に関する水理学的研究（1963年2月）  
 第13号 野田 愛三：禾穀類の根鞘に関する研究（1963年3月）  
 第14号 川村 信一郎：豆類のデンプンの研究（1963年3月）（エスペラント文）  
 第15号 浅野 二郎：種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林の成立に関する研究（1963年3月）

## Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

- No. 1 Katsumi HATA: Studies on the Constituents and Pulping of "Akamatsu" (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) Wood (March, 1955).  
 No. 2 Nakato NAITO: Phytopathological Studies Concerning Phytohormones with Special Reference to Their Effect on Phytopathogenic Fungi (October, 1957).  
 No. 3 Hiroshi MATSUZAWA: Ecological Studies on the Braconid Wasp, *Apanteles glomeratus* (March, 1958).  
 No. 4 Akira KAJI: Studies on the Retting of Plant Fiber Materials for Japanese Paper Manufacture (March, 1959).  
 No. 5 Kazuo MORI: An Analytical Study on the Structure of the Mandarin Orange-Growing Orchard Farm in a Sloping Land Region (March, 1960).  
 No. 6 Takahiko TAMAKI: Studies of Garaku Paddy Soil and Reservoir Deposits (March, 1960).  
 No. 7 Masaki UEHARA: Physical and Meteorological Studies on the Cultivation and Utilization of Slope Land (March, 1961).  
 No. 8 Hikaru KUWADA: Studies on the Interspecific Crossing between *Abelmoschus esculentus* MOENCH and *A. Manihot* MEDIC. and the Various Hybrids and Polyploids Derived from the Above Two Species (September, 1961).  
 No. 9 Junzaburo NAKA: Physiological Studies on the Growing Process of Sweet Potato Plants (March, 1962).  
 No. 10 Minoru SAITO: The Geology of Kagawa and Northern Ehime Prefectures, Shikoku, Japan (March, 1962). (in English)  
 No. 11 Kiyoshi KOSUGI: Studies on Production and Flowering in Gladiolus (September, 1962). (in English)  
 No. 12 Hachirō KIRA: Hydraulical Studies on the Sedimentation in Reservoirs (February, 1963).  
 No. 13 Aizo NODA: Studies on the Coleorhiza of Cereals (March, 1963).  
 No. 14 Sifaitirō KAWAMURA: Studoj pri Ameloj de Legumenoj (March, 1963). (in Esperanto)  
 No. 15 Jiro ASANO: A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside areas, giving due Consideration to the Salt Resistance of the Seeds (March, 1963).