

9010 沿岸域生態環境改善に関する海水理工学的応用研究

井上 裕雄(香川大学)

本年度においては、海サイドから、生産の場としての利用および海水そのものの利用の基礎となる水質、とくに溶存有機物の動態の解明とそのモニタリング法の開発等、また陸サイドから、生産の場における塩類集積の過程の解明と防止手法の開発等、沿岸域生態環境の保全・改善に関する技術的諸問題を海水理工学的側面から研究した。

(1) 沿岸海水中の溶存有機物の特性と動態について(井上裕雄, 越智 正)

沿岸生態系とくに内湾などにおける溶存有機物の動態を、溶存有機炭素(DOC)濃度、溶存有機窒素(DON)濃度を基礎とし、紫外一可視域の吸収スペクトルのパターン解析等を通じて、これら相互のかかわりの視点から、解明した。さらに光学的方法による直接現場計測法の開発等について応用的研究を展開した。

沿岸域の港、小内湾等の濾過海水を50~80日間培養すると溶存有機物が比較的安定した状態(微生物学的に比較的分解し難い状態)にいたる。この場合、 $a_{340}^* = 0.83 \text{ DOC}^*$ 、 $a_{340}^* = 5.0 \text{ DON}^*$ の関係にあり、したがって、 $\text{DOC}^* / \text{DON}^* = 6.1$ を得た。また、 $(a_{280}^* - a_{W 280}) / a_{340}^* = 2.7$ の関係を見出した。

これらの特性からみれば、50~80日培養後における溶存有機物は主として腐植物質で構成され、marine fulvic acidsに相当するものと言える。上記の諸関係によって腐植化の程度を診断することが出来る。

(2) 内陸性塩類集積地における土壌環境の改善(成岡 市)

内陸性汽水域をとらえ、その塩類集積地における蒸発・塩類集積による作土層の構造変化、地表面クラストの構造、耐塩性植物の移植の可能性の検討を行なった。

その結果、塩類集積により土壌は緻密になり通気・通水性が低下したが、沿岸域汽水圏で生育しているExcoecaria agallochaは移植1年後でも十分な成長度をみせた。クラストは各々孤立した多孔質構造をもっていた。EC(電気伝導度)と飽和透水係数は負の相関、樹幹直径と乾燥密度は正の相関を示しており、続いて根圏環境の追跡を行なう必要があった。

(3) 笠岡湾干拓地における除塩とNa型土壌の改良法(長堀金造)

干陸当初は順調には除塩が進み、物理性も改善されていたが4~5年後土壌の塩分濃度が低下するにつれて土壌の物理性が悪化し、作物の生育も劣ってきた。その原因は干拓地土壌がNa型の粘土から成るためこれを改良するため石膏を混入してCa型の粘土に置換することによって物理性の改善と除塩の進行を促進できることを明らかにした。

1. 作物が正常生育するため必要な根群域としての干拓地土層の深さの改善目標値を、石膏を客入することによって、ESP及びEC分布で分かるように、定めたこと。

2. 石膏の客入量の基本的な算定方法を確立し、さらに現地の状況に応じた石膏の客入量の算定方法を明らかにしたこと。

3. 客入石膏の効果の判定は客入率を種々変えた混合土の分散、沈定、容積の測定によって評価し、その妥当性を検証したこと。

さらに、現地の石膏混入区における散水試験によって除塩効果を検証した。

9010 沿岸域生態環境改善に関する海水理工学的应用研究

井上 裕雄(香川大学)

1. 研究目的

沿岸部では多岐に渡る社会活動が活発であり、海域と陸域の調和とそれぞれの活用に関する問題は、現代社会にとってきわめて重要である。海サイドから見れば、水質保全・海水利用等が対象となり、陸サイドからすれば、塩類侵入・塩類集積等が生物生産の場の保全・改善から問題として浮上する。

本年度の研究においては、海サイドから、生産の場としての利用および海水そのものの利用の基礎となる水質、とくに溶存有機物の動態の解明とそのモニタリング法の開発等、また陸サイドから、生産の場における塩類集積の過程の解明と防止手法の開発等、沿岸域生態環境の保全・改善に関する技術的諸問題を海水理工学的側面から研究することを目的とした。

2. 1990年度の研究報告

2. 1 沿岸海水中の溶存有機物の特性と動態について

香川大学農学部 井上裕雄

香川大学農学部 越智 正

(1) 研究目的

沿岸海域水中にわ河川水や種々の排水などから供給される溶存有機物および沿岸域の富栄養化に伴う植物プランクトンの増殖・分解過程で放出される溶存有機物、懸濁有機物の分解に伴うもの等が含まれ、これらが一体となって沿岸域に特有の溶存有機物が形成される。容易に分解されるものもあれば、微生物作用に対し抵抗性があり、分解され難い腐植化部分もある。これら溶存有機物の特性、その動態、さらに光学的方法による直接現場計測法の開発等について応用的研究を展開した。

(2) 研究方法

沿岸生態系とくに内湾などにおける溶存有機物の動態を、溶存有機炭素(DOC)濃度、溶存有機窒素(DON)濃度をベースとし、紫外・可視域の吸収スペクトルのパターン解析等を通して、これら相互のかかわりの視点から、解明した。

香川県沿岸海域で調査を行い、海水はワットマン・グラスファイバー・フィルター (GF/C) またはミリポア・フィルター (0.45 μHA) で濾過し、実験に供した。

日立1340自記分光光度計または日立100-10分光光度計により、濾過海水の紫外・可視領域における吸光度を光路長50mm石英セルにて測定した。溶存有機炭素 (DOC) については、予め試水約3mLに1.2N HCl 1滴を加え、高純度空気を50 mL/minで3分間通気して無機炭素を除去した後、燃焼・非分散型赤外線CO₂分析計を備えた島津有機炭素分析計 (TOC-500) を用いて測定した。また、触媒酸化・化学発光方式の住友化学全窒素自動測定装置 (N-10) を用いて測定した全窒素から、別にテクニコン・オートアナライザー (II) により求めた無機態窒素を差し引いて、溶存有機窒素 (DON) を得た。

実験の第I群については、動的性状変化を追跡するため、採水後0.45 μミリポア・フィルターで濾過し、その濾過海水3~10Lを瓶に入れ、原水を1滴加えて、室温・暗所にて50~80日間培養した。この期間、所定の日間隔で試料を採り、改めて0.45 μミリポア・フィルターで濾過して分析に供した。実験の第II群については、場所的相違つまり分布状況を把握するため、採水して直ちに濾過し分析に供した。

(3) 研究結果

時間経過による溶存有機物の性状変化：

香川県高松市周辺の港、小内湾等で採水し、濾過海水について50~80日間に渡って培養したが、その期間中、所定の日間隔で試料をとり、改めて濾過し、吸収係数、DOC、DONを分析した。

Fig.1 は a_{340} (波長340nmにおける吸収係数, m^{-1}) とDOC濃度 (mgC/L) の時間経過変化を追跡図として描いたものである。

培養の初期、DOC濃度はかなり顕著に減少するが、 a_{340} の変化は小さい。 a_{340} はほとんど変わらないか、ある程度減少する。30日経過後になると、DOC濃度の減少速度は小さくなり、 a_{340} は①ほとんど変わらない②幾分増加する③幾分減少するといった複雑な様相を呈する。そして、50~80日後、平均的にみれば、図中に示したA-B直線上に定着するようである。溶存有機物が比較的安定した状態 (微生物学的に比較的分解し難い状態：腐植物質) にあるものと考えられる。

そこで50~80日培養後における a_{340}^* 対 DOC^* および a_{340}^* 対 DON^* の関係を Fig.2 および Fig.3 に描いた。*印は50~80日培養後における値を示す。

それぞれについて

$$a_{340}^* = \zeta DOC^* ; \zeta = 0.83 \pm 0.12 \quad m^{-1} / (mgC/L)$$

$$a_{340}^* = \xi DON^* ; \xi = 5.0 \pm 0.8 \quad m^{-1} / (mgN/L)$$

の関係式を得た (Table 1)。

この場合、平均値として

$$DOC^* / DON^* = 6.1 \pm 0.6$$

を得る。

長時間培養された濾過海水の吸収スペクトルは類似の傾向を示し、紫外部から可視部に向かって(250nmより短い領域を除いて)、大略、指数関数的に減衰するものの、吸収の大きさには差異がみられ、また共通して270nm付近に弱いシヨルダールが認められた。当初にこのシヨルダールの強いものは培養時間の経過で次第に弱くなる。当初にシヨルダールの弱いものでは変化が小さい。いずれにせよ培養につれてシヨルダールは弱くなって、吸収係数を対数Scaleにとれば、波長280~360nmの範囲で、吸収スペクトルはほぼ直線関係を呈するようになる。

50~80日培養後の溶存有機物について、 $(a_{280}^* - a_{w280}) / a_{340}^*$ を見積った。 a_{w280} は人工海水中の溶存物質による波長280nmにおける吸収係数である。Table 1に括めたように、

$$(a_{280}^* - a_{w280}) / a_{340}^* = 2.7 \pm 0.2$$

を得た。

溶存有機物の場所的な性状分布：

7~8月に4回、播磨灘において表面と40m深、小豆島内海灣において表面と13m深で採水した。また、12月に高松市周辺海域で岸よりから沖合いにかけて10数点で採水した。いずれの試水も、採取後なるべく早く、吸収係数、DOC、DON等の分析に供した。 a_{340} 対DOC、および a_{340} 対DONの関係としてプロットしたのがFig.4およびFig.5である。

Fig.4でみると、明らかに、DOC値は $a_{340}^* = 0.83 \text{ DOC}^*$ の関係を満たす値より大きい。換言すれば、易分解性のDOCを含んでいると理解される。しかし、播磨灘では表面海水より40m層の海水の方が上述の關係に近いし、高松市周辺海域では、岸よりの海水より沖合い海水の方がこの直線關係に近づいていることがわかる。 a_{340} 対DONの關係を示したFig.5においても、さほど顯著ではないが、DOCの場合と似た傾向を持つ。結局、溶存有機物は、播磨灘では深層の方で、また高松市周辺海域では沖合いの方で、微生物作用に対してかなりの抵抗性を持つ腐植物質によってより多く構成されていたといえる。

(4) 考察

小倉(1972)は表層水中の溶存有機物(DOM)を F_I , F_{II} , F_{III} の3つのフラクションに分けた。 F_I は微生物によってきわめて容易に利用され得る部分、 F_{II} は微生物によって利用され得る部分、 F_{III} は難分解性で、微生物によって容易には利用され得ない部分である。 F_{III} はmarine humic substances(海洋性腐植物質)に相当すると考えられる。

前記の50~80日培養後においては、大部分が F_{III} で構成され、一部 F_{II} が残存しているものと解釈される。

Gulf of Mexicoでの調査によれば、(fulvic acid / humic acid) 比は5~30の範囲にあり、通常10あるいはそれ以上の値をとる(Harvey et al.1983)。したがって通常海域でのmarine humic substancesは大部分marine fulvic acidsからなるとみてよい。

Sargaso Sea でのmarine fulvic acidsは $C/N = 6.7$ (質量比) の性質を持つ (Stuermer-Payne, 1976) .また, Ishiwatari (1985) によれば, 湖沼堆積物から抽出されたfulvic acidは $C/N = 5.8$ (質量比) の平均値である.

この様な C/N 比 は今回の実験で得た50~80日培養後における溶存有機物の $C/N = 6.1$ (質量比, 平均値) とかなりよく一致する (Table 1参照) .

Ishiwatari (1985) は湖沼堆積物から抽出したfulvic acid について, 平均値として $E_{400}/E_{600} = 24.0$ を得ている. ただし, E_{400} , E_{600} はそれぞれ波長400 nm, 600 nmにおける1 mg C/mL当りの吸光度である.

これから, 吸光度 (または吸収係数) を対数 Scaleにとった場合における勾配 (G) に換算すれば,

$G = -0.0159$: 波長400~600 nm範囲
見積ることができる.

今回の結果 (Table 1) によれば, 平均値として,
 $G = -0.0166$: 波長280~340 nm範囲
であった. 両者はかなりよい一致を示す.

結局, 50~80日培養後における溶存有機物は主として腐植物質で構成され, その性質はmarine fulvic acids によく類似していると言える.

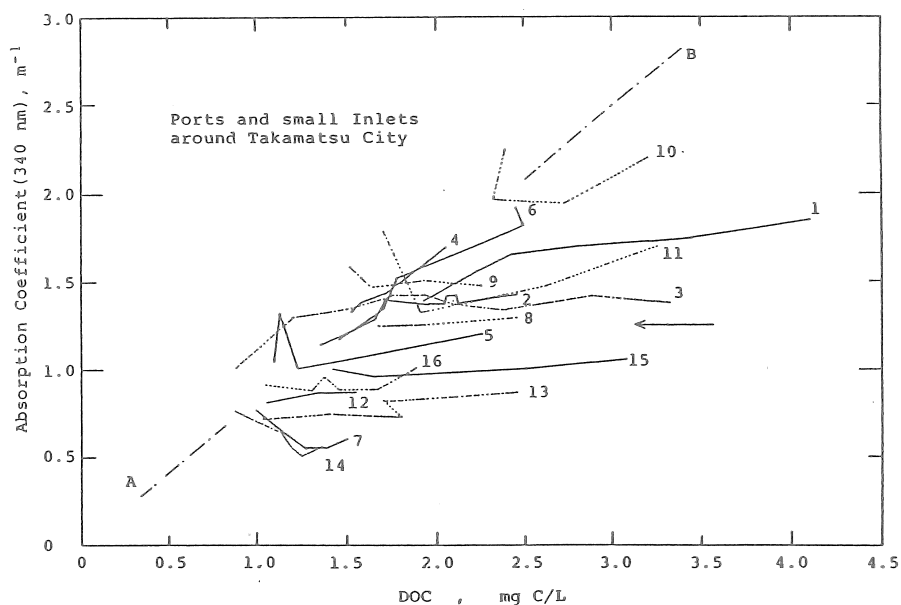


Fig. 1 Change in DOC concentration and absorption coefficient at 340 nm over the 50-80 days incubation period.

Place and Date of Sampling

1	Shido Fishing Port	Jun. 7 '90	9	Tsumeta Estuary(C)	Oct.30 '90
2	Shido Fishing Port	Dec. 8 '90	10	Dan-no-ura	Aug. 2 '90
3	Aji Fishing Port	Sep. 8 '89	11	Ishiba	Aug. 2 '90
4	Aji Fishing Port	Sep.25 '89	12	Kozai Fishing Port	Oct.28 '89
5	Aji Fishing Port	Jul. 2 '90	13	Nishihama Fishing Port	Oct.28 '89
6	Aji Fishing Port	Jan.15 '91	14	Takamatsu Harbour	Oct.28 '89
7	Tsumeta Estuary(A)	Oct.28 '89	15	Higashihama Fishing Port	Aug. 1 '90
8	Tsumeta Estuary(B)	Jul.30 '90	16	Takamatsu Higashi harbour	Oct.28 '89

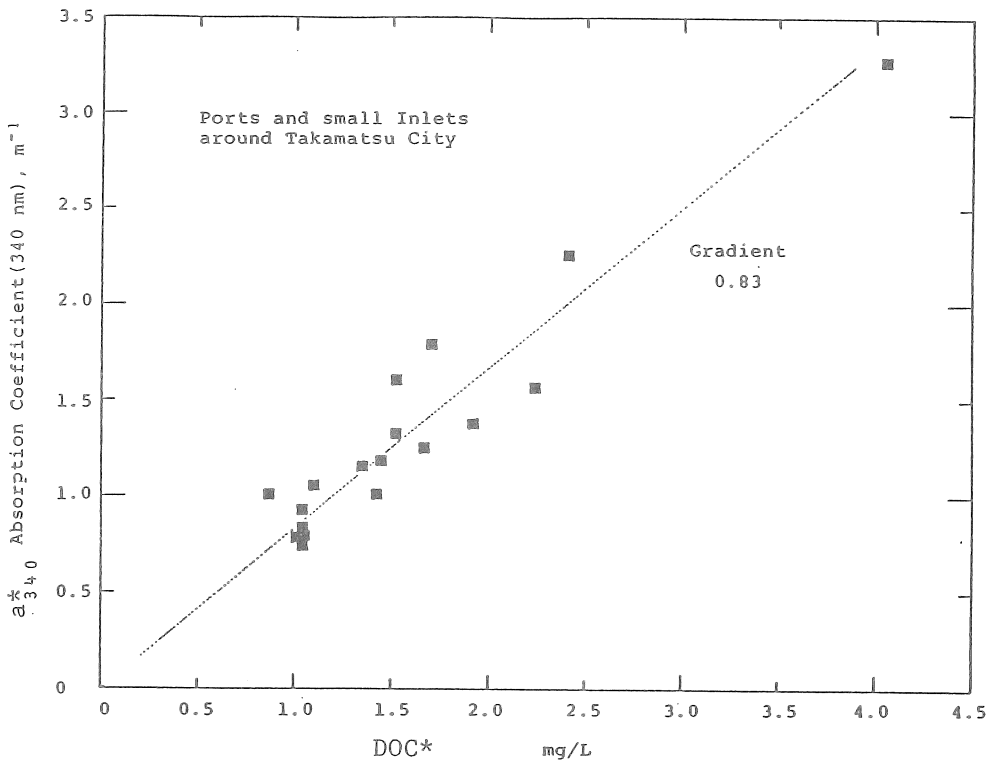


Fig. 2 Relationship between DOC concentration and absorption coefficient at 340 nm after 50-80 days of incubation.

Table 1 Optical Properties of Dissolved Organic Matter in Coastal Sea Water around Takamatsu City after 50-80 Days of Incubation.

a_{340}^*/DOC^*	a_{340}^*/DON^*	$\frac{a_{280}^* - a_{w280}}{a_{340}^*}$	$\text{DOC}^*/\text{DON}^*$
0.83 ± 0.12	5.0 ± 0.8	2.7 ± 0.2	6.1 ± 0.6

a_{280} : Absorption coefficient at 280 nm, m^{-1}
 a_{340} : Absorption coefficient at 340 nm, m^{-1}
 DOC: Dissolved organic carbon content, mg C/L
 DON: Dissolved organic nitrogen content, mg N/L
 (Suffix w indicates the artificial sea water. Asterisk * shows the value after 50-80 days of incubation.)

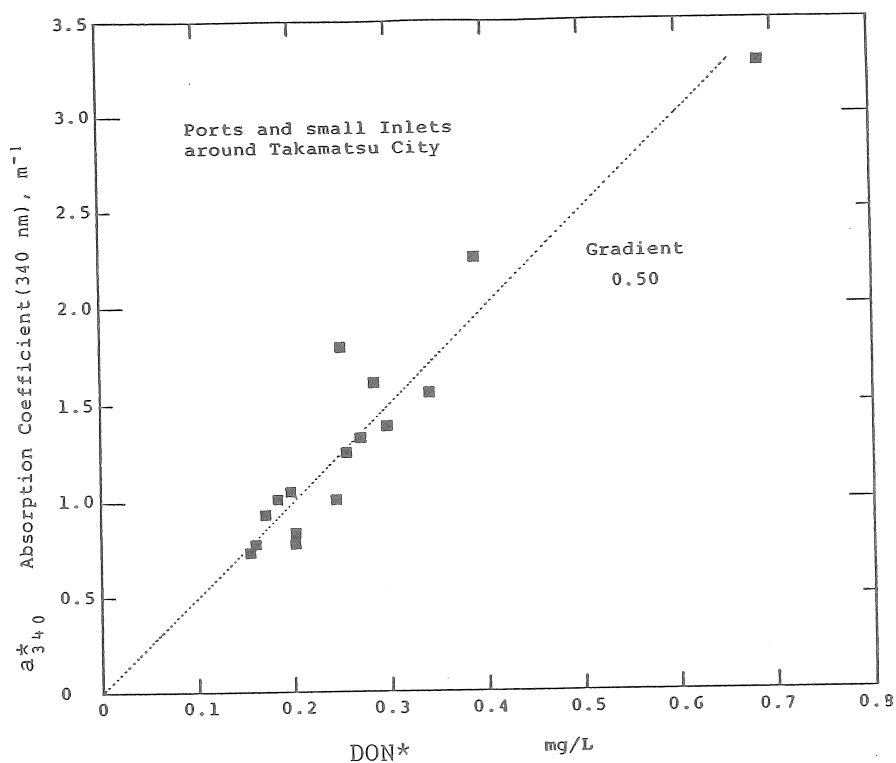


Fig. 3 Relationship between DON concentration and absorption coefficient at 340 nm after 50-80 days of incubation.

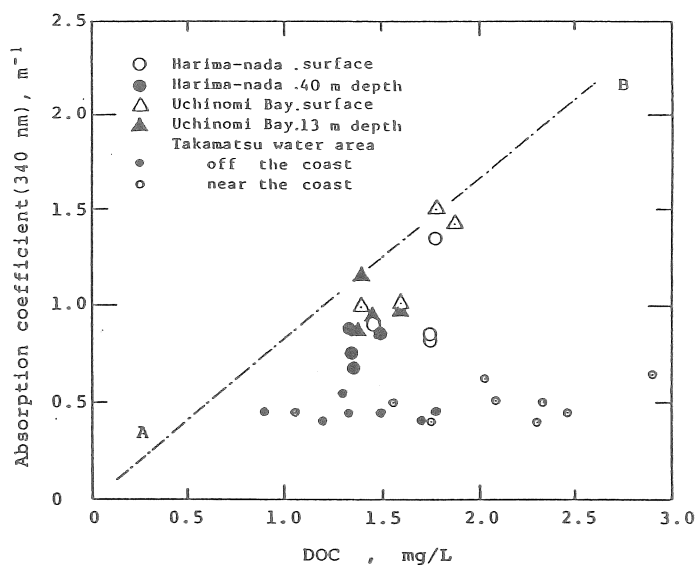


Fig. 3 Plots of absorption coefficient at 340 nm against DOC concentration, immediately after sampling.

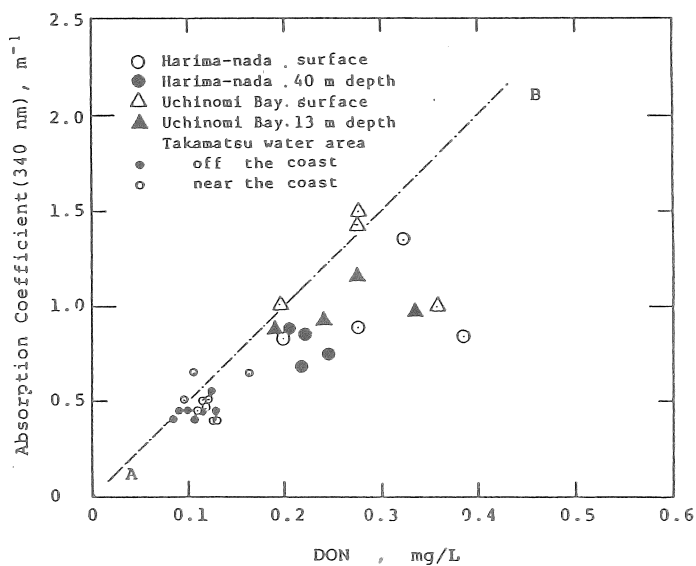


Fig. 4 Plots of absorption coefficient at 340 nm against DOC concentration, immediately after sampling.

2. 2内陸性塩類集積地における土壌環境の改善

東京農業大学総合研究所 成岡 市

(1) 研究目的

沿岸は陸地と海域の境界にあることで従来陸地として扱われるが、この沿岸環境は本来の陸地と異なり沿岸域海水環境条件が付加して複雑になっている。つまり、それは沿岸海域が外洋に接する開放的な外洋性生態系と閉鎖的な内湾・内海性生態系とが混在する特殊な海域となっていることに起因している。

近年、経済開発に伴う沿岸域生態系の均衡の崩壊は地球環境の深刻な問題の一つに挙げられている。とくに土壌環境の崩壊は土壌流亡や塩類集積などと密接な問題として取り上げられ、塩類集積は内陸性汽水域を存する乾燥・半乾燥地域の砂漠化問題として極めて深刻である。

本研究は、上述のうち閉鎖的な内海性生態系の延長上に内陸性汽水域をとらえ、その不毛化した塩類集積地を元の植生帯に戻すために土壌環境の改善をすすめることとするものである。とくに蒸発・塩類集積による作土層の構造変化、地表面クラストの構造、耐塩性植物の生理と根圏土壌との相互関係の検討を行なった。

(2) 研究方法

タイ国東北部の内陸性塩類集積地を研究対象地として、i)土層改良を施した試験圃場における耐塩性植物の成長観察、ii)土壌断面および地表面クラストの構造変化の分析、などを行なった。このうち、i)は耐塩性植物の成長度（樹高、樹幹直径、分枝数）および土壌のECなどについて一年間の継続観測を行なった。また、ii)は土壌断面調査を行なった後、100cm³定容量円筒で採取した不攪乱試料土の物理性を測定し、クラスト構造は採取した試料土から軟X線映像法で分析した。

(2.1) 調査地

調査地はタイ東北部コンケン県とした。同県はコラート台地の北東部に位置し、乾期はほとんどの低地で塩類土壌（主としてNaCl）が発生する。この塩類土壌は、面積にして東北部総面積の17%にも達し、その成因は地質学的機構によるものが主となっている。さらに、この地域はサバンナ気候に属し、乾期と雨期が明瞭に別れている。この地域の経済の中心となっているコンケン県では平均降雨量が1190mm（過去30年間）で、その85%が5～10月に集中している。

(2.2) 土層改良圃場

耐塩性植物の移植試験のために、10m×20mの広さの土層改良圃場を造成した。この試験圃場は5つの区に分割し、混合区A（Mixing(Gravel)、土壌1：粗殻1/10の容積割合、50cm低部には径10～20mm、厚さ数cmの礫層を作った）、混合区B（Mixing、土壌1：粗殻1/10）、対照区C（Control）、耕起区D（Plowing、15cm耕起）、湛水区E（Paddy）とした。

生育初期にはこの圃場面から200cmの高さにココナツ葉の屋根を設け、太陽光の直射を防ぐようにした。さらに苗の移植には、40cm×40cm×40cm深の四角坑を掘り、土2に対し

て牛糞 1 (いずれも容積割合) を混合した。その移植孔には苗を移植して、成長度 (樹高、樹幹直径、分枝数) および土壌の EC を経時的に観察・測定した。

移植した植物は、*Brugiera*, *Eucalyptus*, *Excoecaria agallocha*, *Heritiera littoria*, *Melaleuca leucadendron*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora calaria*, *Rhizophora mucronata*, *Xylocarpus granatum* など 9 種とした。

土壌断面の調査項目は、層序、層界、土色、土性、斑紋・結核、腐植、土壌構造、孔隙性などである。また、100cm³定容量円筒採取試料では、仮比重 (乾燥密度)、飽和透水係数などを測定した。

(2.3) 軟 X 線映像法

この軟 X 線映像法は、土壌内部の静的・動的現象を非破壊で観察・計測できる新しい研究手法である。軟 X 線は最短 0.02nm から最長 10nm の波長帯として認識されており、最短波長 0.02nm の連続 X 線が数十 mm の厚みにした土壌試料の透過撮影に適している。

土壌内部の映像は次式として出現する。

$$(N_H - N_P) / N_0 = \exp(-\mu_H T) [1 - \exp\{(\mu_H - \mu_P) d\}] \quad (1)$$

ここで、 N_0 : 土壌に照射される X 線光量子、 N_H : 土壌の固相を透過して投影面に達する X 線光量子、 N_P : 土壌の孔隙部分もしくは固相よりも X 線を吸収し易い部分を透過して投影面に達する X 線光量子、 T : 土壌の厚さ [mm]、 d : 孔隙内径 [mm]、 μ_P : 孔隙部分の線吸収係数 [cm^{-1}]、 μ_H : 固相部分の線吸収係数 [cm^{-1}] をそれぞれ表わす。(1) 式の左辺の $(N_H - N_P) / N_0$ が透過率の差すなわち映像のコントラストとなる。なお、 $\mu_H = b \sum (\lambda_i^{-3} Z_i^4 \rho_i C_i / 100)$ 、 b : 定数、 i : X 線を透過する土壌の構成成分、 λ_i : 土壌の構成成分 i を通過する X 線の最短波長 [nm]、 Z_i : 土壌の構成成分 i の原子番号、 ρ_i : 土壌の構成成分 i の密度 [g/cm^3]、 C_i : 土壌の構成成分 i の重量割合 [%] をそれぞれ表わす。

もし、撮影する土壌の構成元素の重量組成が既知であるならば、最確値としての質量吸収係数は次式で求められる。

$$\mu / \rho = \sum \{ (\mu / \rho)_i C_i / 100 \} \quad (2)$$

ここで、 $(\mu / \rho)_i$: 土壌の構成元素の質量吸収係数 [cm^2/g]、 i および C_i : 既出、をそれぞれ表わし、土壌中の主要物質の質量吸収係数を Table 1 に示す。この質量吸収係数について、最大値・最小値の範囲 (max.-min.) をみると、エネルギーが高い領域 (1MeV) に比べて低い領域 (10KeV) の方が 2000 倍以上と格段に大きな差になっていることがわかる。これは、低エネルギーの軟 X 線が (1) 式に示される映像コントラストを強調することを示すものであり、鉄 (Fe: $\mu / \rho = 169 \text{cm}^2/\text{g}$)、珪素 (Si: 31.5)、カルシウム (Ca: 90.0)、アルミニウム (Al: 24.3)、ナトリウム (Na: 14.4) の順に識別され易いといえることができる。しかし、(2) 式では各々の元素の重量組成に比例する。たとえば火山灰土壌の場合 C_i は、Si: 34.2% (重量)、Al: 24.2%、Fe: 12.5%、Ca: 0.9%、Na: 0.6% となり、そのときの質量吸収係数は約 $0.33 \text{cm}^2/\text{g}$ (60KeV) である。この平均値としての μ / ρ に対して、Na の μ / ρ は 0.232 (60KeV) と差がほとんどないので、軟 X 線映像から土壌基質内の塩 (NaCl) 部分を強調抽出するには、塩の集積度が増すことで可能となる。

本報告では、この軟 X 線映像化法により、土壌クラストの構造および作土層内の汽水移

動を映像化する。

(3) 研究結果

(3.1) 土層構造

調査地のEC_{1:5}（8月測定）は、0～10cm深（表土）で約7000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、10～20cm深で約4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ と塩類が高濃度に集積している。

乾燥期には塩類集積地の地表面約1cm厚の部分はほとんど乾燥した多孔質構造のクラスト（硬度20～30mm）が形成され、それ以下の層はシルト質壤土の単粒構造、砂質壤土の単粒構造、壤質砂土の壁状構造が成層を成し、鉄集積層およびマンガン集積層が存在する。水分含量は、境界面から下では地下水面に向かって漸減傾向にある。土壤硬度は地表面から35cm深まで漸増傾向で最大28mmであり、それから坑底まで20mmと一定値を示している。硬度20mmは根系の進入限界硬度といわれており、根系進入はほとんど観られないが、根跡孔隙（管状孔隙）は56cm深まで確認できた。腐植含量は全層にわたって2%以下と過小である。

土層改良圃場の造成直後の土壤断面をFig. 1～3に各々示す。

Fig. 1は調査圃場の不攪乱状態（自然状態）の断面である。深度0～50cmまで壤質砂土（粘土分0～5%、シルト分0～15%、砂分85～95%）で構造がほとんど発達していない断面である。土壤硬度は深度35cmまで23～30mmときわめて緊密で植物根が進入困難な硬度となっている。

Fig. 2は現場土壌と粃殻を交互に成層化させている。深度0～30cmまでの土壤硬度が5～10mmと自然構造断面の1/3以下に軟らかくさせた。

Fig. 3は人力で耕起した断面で、耕起深は約15cm、土壤硬度は10～20mmとなっている。

移植試験経過1年後の移植位置（角穴、樹幹付近）における土壤物理特性をTable 2にまとめて示す。Mixing(Gravel)は現場土壌と粃殻の互層の40cm低部に礫層（径10～20mm）を設置した区。Mixingは底に礫層をおいていない区。Controlは不攪乱の対照区。Plowingは15cmまで人力で耕起した区である。含水比（ w_f ）はMixing(Gravel)、Mixing、Contol、Plowingの順に多く、乾燥密度（ ρ_d ）はその逆にPlowing、Contol、Mixing、Mixing(Gravel)の順に密になっており、飽和透水係数（ K_s ）は含水比と同様となっている。耕起区の方が対照区より密度が高く、透水性が低下していることに注意しなければならない。

(3.2) 耐塩性植物

移植試験1年後の成長度をFig. 4～6にまとめた。

Fig. 4は樹高を示す。3m台に成長したのはEucalyptusであり、続いて2m台はMelaleuca leucadrendronおよびExcoecaria agallochaであった。Eucalyptusは対照区Cと耕起区Dのみに移植してあった。Eucalyptus以外をみると、混合区A・BとでMelaleuca leucadrendronがよく成長している。混合区A・Bおよび耕起区DではExcoecaria agallochaが特徴的に成長している。

Fig. 5は樹幹直径を示す。卓越しているのはExcoecaria agallochaの40mm台であり、樹高の特徴でもあった混合区A・Bおよび耕起区でみられる。続いてEucalyptusが20mm台と

太い。

Fig. 6は分枝数を示す。樹高および樹幹直径でみられた特徴と同様に、Excoecaria agallochaが最も分枝している。

(3.3) 塩類集積

Fig. 7は土層改良圃場における移植試験1年後の電気伝導度（EC）を示している。対照区Cと耕起区Dが1.00mS/cm（1:5H₂O）と高い値を示し、塩分濃度が高まっていることを示している。それに対して混合区A・Bはいずれも塩集積が抑制されている。

(3.4) 土壌クラスト

Photo 1～3に土壌表面のクラストを示す。Photo 1は現地地表面に形成されている多孔質のクラストである。Photo 2はそのクラストを軟X線で透過映像化したものである。写真に向かって上が地表面となっている。この厚みは約7mmである。上部と下部とで映像の黒化濃度が異なり、上部が濃く、下部で淡くなっている。黒化濃度と土壌密度はおおよそ比例するので、上部で高密度、下部で低密度となっていることがわかる。乾燥状態では上部の高密度状態は変わらないが、水分が加わると徐々に流動分解する。Photo 3は造影剤を用いて多孔質構造の空洞部分を軟X線で写し出したものである。部分的に丸い形状がみられ、これが空洞部分を示している。いずれも孤立した径1mm以内の気泡状の間隙である。

(4) 考察

(4.1) 耐塩性植物の成長

移植試験1年後の樹高で3m台に成長したのはEucalyptusであったが、このEucalyptusが乾燥・半乾燥の塩類土壌地で生育することはよく知られていることである。

Eucalyptusを除く他の樹種ではMelaleuca leucadrendronおよびExcoecaria agallochaが2m台の成長をみせた。そのうち混合区A・BとでMelaleuca leucadrendronがよく成長しており、混合区A・Bおよび耕起区Dの3区ではExcoecaria agallochaが特徴的に成長している。樹幹直径および分枝数でもExcoecaria agallochaが群を抜いている。この樹種は、沿岸マングローブ域において大潮時に汽水（海水）が及ぶ比較的土壌内で通気・通水が良好な地盤に生育する。これに対してMelaleuca leucadrendronは、より陸化した地下に汽水が浸入する地盤で生育する。成長度が低かった他の樹種は、それらのほとんどが1日1回以上汽水（海水）に浸る立地でみられる。

これらのことから、土壌内環境と植物生育とに重要な関係が成立していることが類推できる。すなわち、根系発達の制約要因としての土壌硬度、密度、通気性、透水性が主なるものであり、Melaleuca leucadrendronなど汽水圏に慣れている種は、膨軟で干満の差が大きく水・ガス・養分移動が盛んな立地で生育するのにに対して、Excoecaria agallochaはそれよりも陸に上がった土壌圏としての生育環境で生き残れる種であると判断できる。したがって、調査圃場においてExcoecaria agallochaの他は淘汰されていた可能性が高い。

調査圃場は、沿岸域マングローブ地帯とは全く異なる環境を呈しているが、Excoecaria agallochaが移植1年後にみせた成長度は、その生育環境をさらに追究しなければならぬ重要な結果を示しているといえよう。

(4.2) 土層構造の変化と汽水移動

植物の成長度に対して、土壌環境はどのようになっているのであろう。

植生が残る塩類の低濃度集積地では透水性が高い粗い土壌構造となっており、高濃度集積地では透水性が低い緻密な構造となっている。前出のTable 2は、乾燥密度と飽和透水係数について土層改良圃場内の各プロットの特徴が示されていた。そのうち耕起区が対照区よりも緻密で透水性が低下していた結果は非常に興味深い。粘土粒子に Na^+ イオンが吸着すると、粒子が分散する。その結果、土壌の粗間隙構造が減少し微細間隙が増加する。さらに分散割合が高くなることによって保水力が増加するとともに毛管上昇高が増大する。この過程には土壌構造が緻密になることも含まれており、粗間隙の減少は透水性の減少にもつながる。その過程が実際に起こっていたとすれば、耕起区は実験開始当初に透水性が高く（ K_s ; $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/s}$ のオーダー）、汽水の浸入が土壌内にくまなく容易に行なわれたことは明らかである。それに対して対照区が耕起区より密度が低く、透水性が高かったのは、対照区がもともと緻密で透水性が低かったために（ $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/s}$ のオーダー）、汽水浸入を抑制して分散粒子の再配列を低減させていたと考えることができる。

また、土壌表面（地表面）では、降雨時の雨滴エネルギーによる土壌構造の破壊やカチオンによる粒子分散をはじめ無降雨時の強烈的な蒸発・乾燥が加わり特異な土壌表面構造を形成する。前出のPhoto 1～3にその写真を示している。これをクラストと呼称するには厚く（一般に土壌クラストは厚さ数mm以内）になっているが、下層との熱伝導や通気・通水性を抑制する各々が孤立した気泡状の間隙構造があるためにクラストとして特徴的な構造を持つようになっていると思われる。地表面にこの多孔質構造が形成されているため、雨水が地中に浸入することを妨げており、また地表面付近の浅層土壌内水分の蒸発を抑制している。

塩類集積を抑制した（Fig. 7）混合区のAとBは、50cm底部隣層の設置の有無に違いがある。再びTable 2をみると、隣層を持つA区が持たないB区よりも透水係数が大きくなっている。この隣層は雨水の降下浸透促進のための排水層として、また地下汽水の毛管上昇抑制としてその機能を持つと考えることができる。

毛管上昇から考えれば、この隣層（毛管汽水制御層）はその下端部で水を引き上げない構造を持つようにすればよい。しかし、降下浸透の際には毛管汽水制御層内が飽和して下層の可溶性塩類を作土層内に上昇させないように十分な貯留容量と排水機能を持つような間隙構造を考えなければならない。

降下浸透では、作土層と毛管汽水制御層との境界面において、毛管汽水制御層が持つ毛管張力が作土層のそれよりも小さいほど、作土層から毛管汽水制御層に向かう浸透量が減少し、作土層内の含水量が著しく増加し、それがピークに達した時点で一気に部分流となって毛管汽水制御層を降下するという現象が見られる。その過程をPhoto 4に示す。黒い影となっているのは造影剤であり、これを雨水の降下浸透としてシミュレートした。作土層（ローム層）を第1層、隣層（ガラスビーズ層）を第2層、下層（砂層）を第3層として成層試料を作り、上端から造影剤を滴下した。第1層が飽和近くなり、第2層とのポテンシャル勾配が第1層での雨水保持を止めることができなくなれば第2層中に部分流となっ

て流下して、第3層で再び拡散・再分布を始める。

(4.3) 土壌と植物成長

Table 3に植物の成長度と土壌の理化学性について重相関分析結果を示した。

正の相関が最も高いのは、樹幹直径と分枝数である。続いて樹高と樹幹直径が高い。相関はあまり高くはないが、EC（電気伝導度；塩類集積度）と飽和透水係数が負の相関、樹幹直径と乾燥密度が正の相関を示している。ECと透水性については前述のような粗孔隙構造の減少に塩分濃度（カチオン）が影響を強く及ぼしていることから説明できる。

土壌と植物生育との相関が大きくなかった原因は、サンプリング（対応できるものだけの）数が過小であったことが挙げられる。

(5) 今後の課題

不毛化した塩類集積地を元の植生帯に戻すために土壌環境の改善をすすめるため、蒸発・塩類集積による作土層の構造変化の解析、地表面クラスト構造の解析、耐塩性植物の生理と根圏土壌との相互関係の検討などを行なった。

今後の課題として、汽水圏内における植物生育の生理と土壌の物理特性との関連についてより詳細な検討が必要であり、作土層内における水蒸気の動態および乾燥化過程、作土層および毛管汽水制御層における温度勾配に伴う水の移動、土壌の通気性などの究明が望まれる。

本研究をさらに進展させるためには、①地表面クラストの土壌内物質移動に関わる役割の分析、②耐塩性植物の生理と根圏土壌との相互関係の検討、③地下排水性を促進する現地土壌に対応した土層構造の設計、などについて検討を進める必要がある。

Table 1 Mass attenuation coefficient of main matter
unit: cm²/g

matter	10keV	60keV	100keV	1 MeV
⁸ O	5.34	0.188	0.155	0.0636
¹⁴ Si	31.5	0.311	0.182	0.0635
²⁶ Fe	169	1.18	0.370	0.0598
¹³ Al	24.3	0.268	0.169	0.0614
²⁰ Ca	90.0	0.637	0.256	0.0637
¹¹ Na	14.4	0.232	0.158	0.0608
⁷ N	3.42	0.180	0.154	0.0636
⁶ C	2.06	0.174	0.152	0.0635
H	0.384	0.326	0.294	0.126
⁵³ I	144	7.45	1.92	0.0579
⁸² Pb	84.6	3.55	5.46	0.0703
水(H ₂ O)	4.72	0.203	0.171	0.0706
空気	4.55	0.185	0.155	0.0635
max. - min.	168.616	7.302	5.327	0.0896

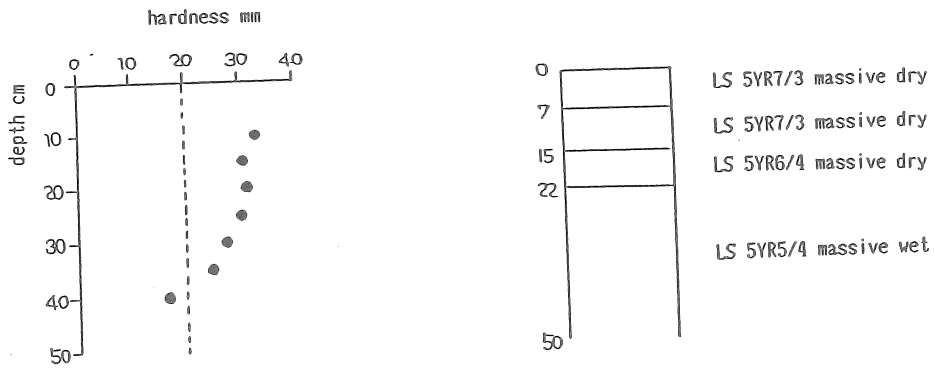


Fig. 1 Soil profile of natural structure

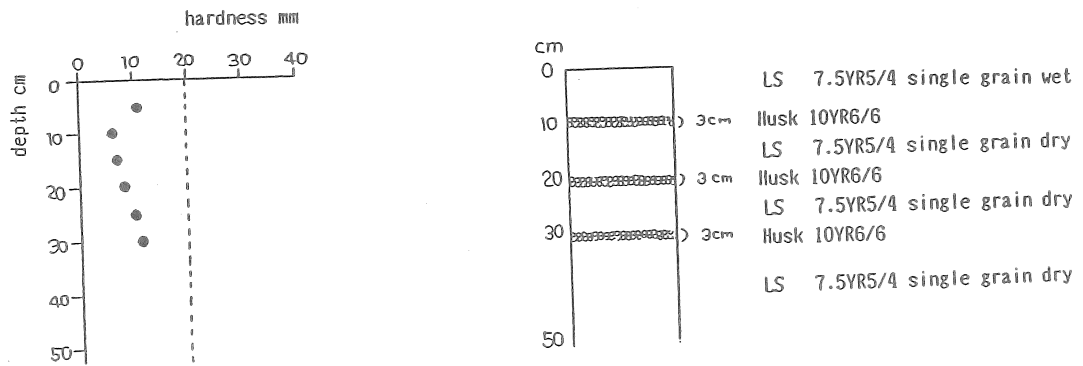


Fig. 2 Soil profile of mixing layer

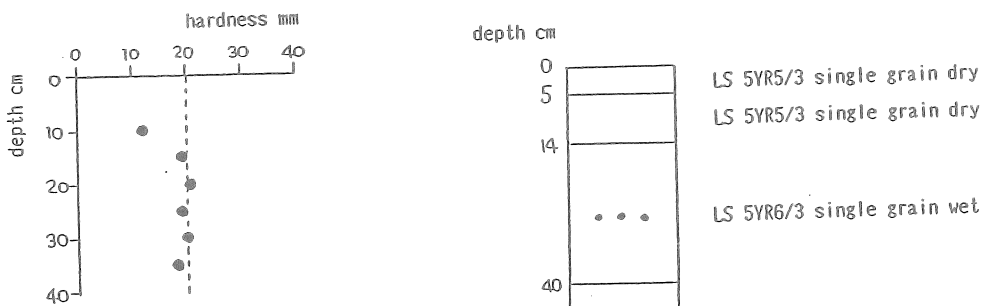


Fig. 3 Soil profile of plowing layer

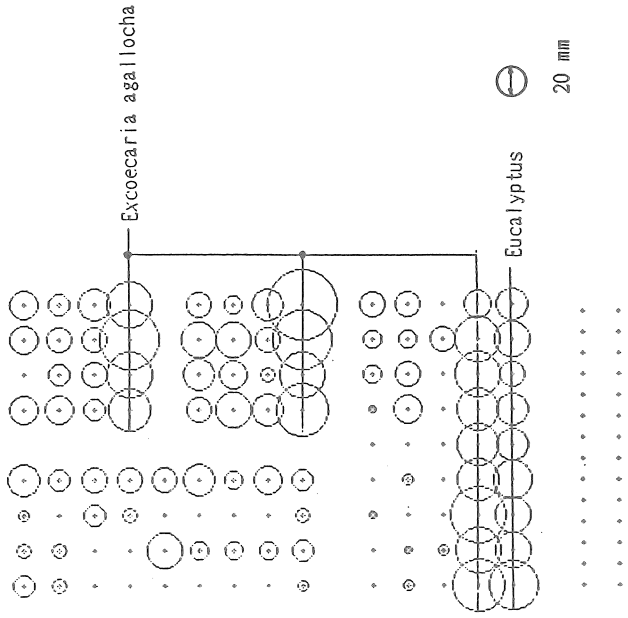


Fig. 5 Diameter of trees after 1 year

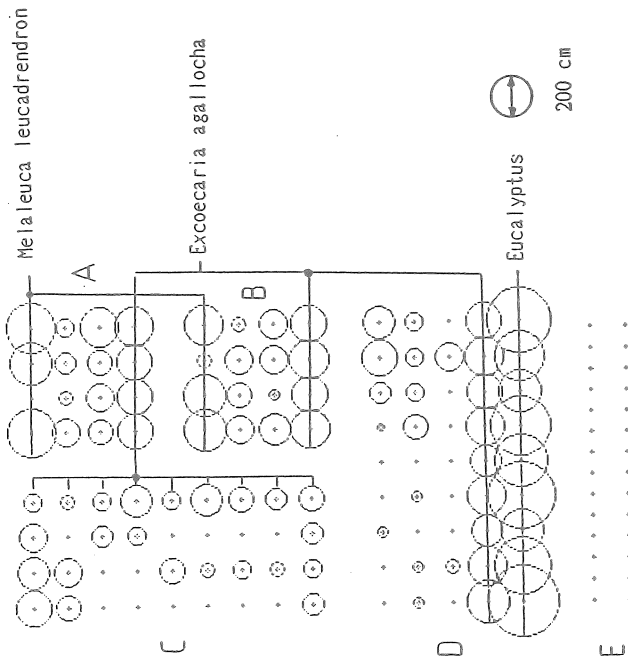


Fig. 4 Height of trees after 1 year

- A Mixing layer (Soil(1)+Rice husk(1/10)+Gravel at bottom); 50cm-depth
- B Mixing layer (Soil(1)+Rice husk(1/10)); 50cm-depth
- C Control
- D Plowing; 10cm-depth
- E Paddy

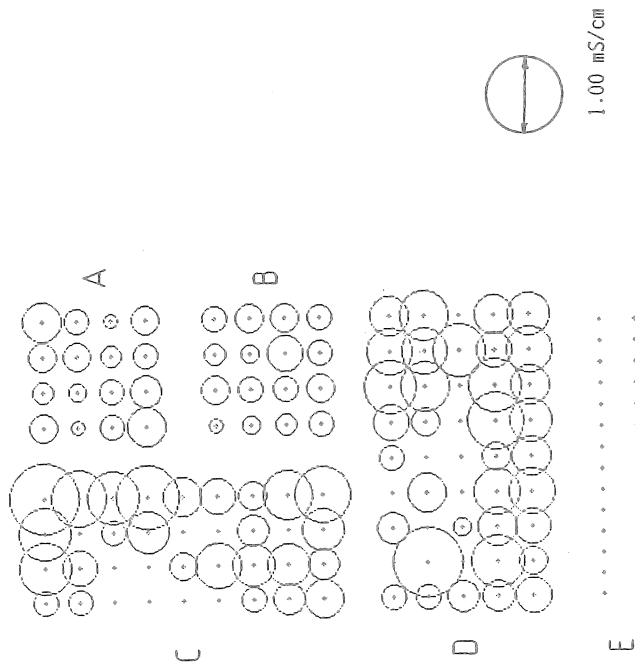


Fig. 7 EC of surface soil

- A Mixing layer(Soil(1)+Rice husk(1/10)+Gravel at bottom); 50cm-depth
- B Mixing layer(Soil(1)+Rice husk(1/10)); 50cm-depth
- C Control
- D Plowing; 10cm-depth
- E Paddy

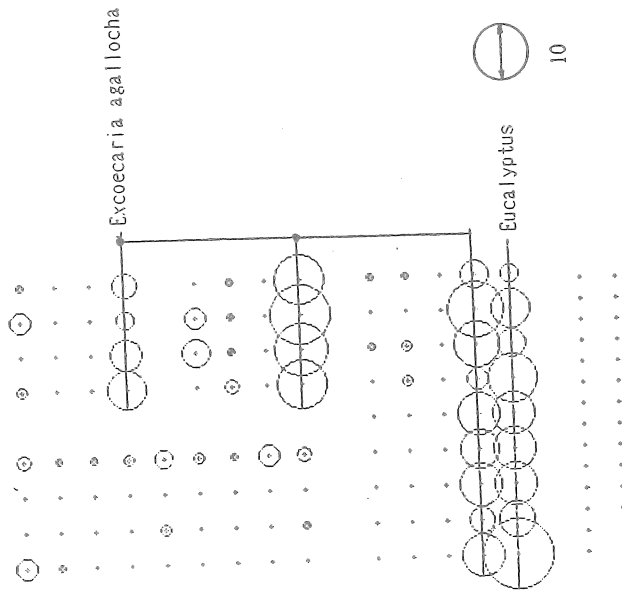


Fig. 6 Branch number of trees after 1 year

Table 2 Characteristics of soil after 1 year

Plot	Point No.	w_r (%)	ρ_d (g/cm ³)	K_s (cm/s)
Mixing (Gravel)	5	24.42	1.43	4.23×10^{-3}
	8	22.03	1.53	2.44×10^{-3}
	14	21.83	1.49	2.00×10^{-3}
	15	21.06	1.37	2.68×10^{-3}
Mixing	18	23.38	1.45	1.51×10^{-5}
	20	22.42	1.42	1.80×10^{-3}
	24	20.38	1.58	4.68×10^{-4}
	30	21.06	1.47	5.56×10^{-5}
	31	22.33	1.39	1.51×10^{-4}
	Control	40	18.04	1.56
56		16.60	1.53	1.20×10^{-3}
64		19.45	1.47	2.87×10^{-4}
68		17.95	1.52	1.64×10^{-4}
Plowing	72	17.72	1.44	2.77×10^{-5}
	74	17.54	1.62	3.32×10^{-6}
	99	19.07	1.53	7.02×10^{-6}
	100	19.02	1.54	4.37×10^{-5}

Table 3 Multiple correlation of some factors of trees

Number of cases = 22

VAR	MEAN	VARIANCE	SD	MIN	MAX
X(1)	109.227	3856.370	62.100	0.000	213.000
X(2)	17.046	130.331	11.416	0.000	39.000
X(3)	5.045	39.760	6.306	0.000	21.000
X(4)	0.358	0.028	0.169	0.000	0.730
X(5)	1.964	4.532	2.129	1.370	11.490
X(6)	0.001	0.000	0.001	0.000	0.004

Correlation(upper) and Covariance(lower) Matrix

	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)
X(1)	3856.370	0.81938	0.59452	0.16068	0.23226	0.17773
X(2)	530.894	130.331	0.82686	0.16650	0.25501	0.09953
X(3)	232.799	59.522	39.760	0.11921	0.19757	-0.20484
X(4)	1.683	0.321	0.127	0.028	0.05183	-0.27162
X(5)	30.706	6.198	2.652	0.019	4.532	0.19498
X(6)	0.014	0.001	-0.002	-0.000	0.001	0.000

[NOTE: Variances and Covariances are divided by n-1]

X(1):height X(2):diameter X(3):branch X(4):EC X(5):bulk density X(6):Ks



Photo1 Soil crust at in-situ

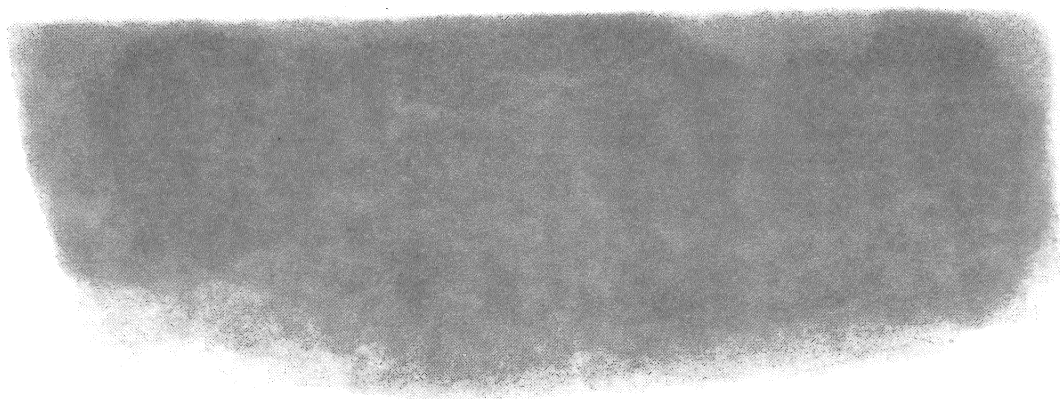


Photo2 Soil crust by X-ray radiograph



5 mm

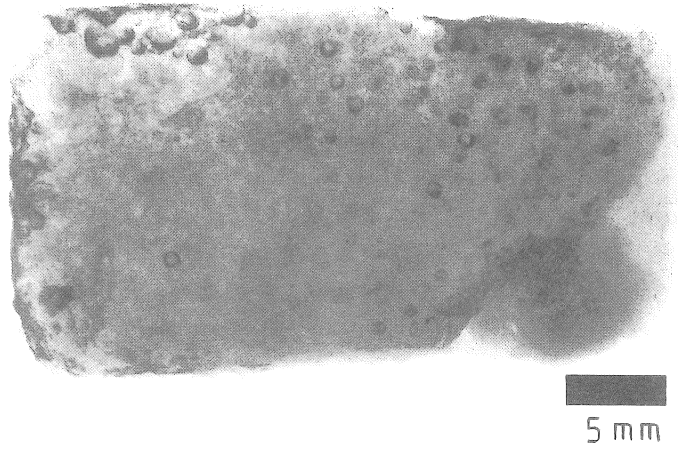


Photo 3 Soil crust by X-ray radiograph(injected contrast-agent)

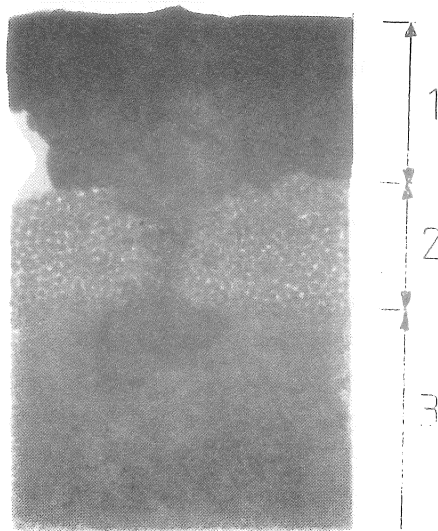


Photo 4 Simulation of water movement in soil profile by X-ray radiograph

2. 3 笠岡湾干拓地における除塩とNa型土壌の改良法

－石膏混入区における散水除塩試験－

岡山大学農学部 長堀金造

(1) 研究目的

土壌物理性の悪化に起因した除塩の停滞問題を打破するため、笠岡湾干拓地においては石膏の投入による土層改良が推進されている。諸外国の乾燥地帯においては、石膏を用いたNa土壌（Sodic Soil）の改良システムが確立されているのに対し、わが国のような湿潤地帯においては、全般にわたり不明確な要素が多い。すなわち、どのような過程を経て改良が進行していくのか、あるいはその改良効果がどのように持続していくのか等は、長期的に現地の気象条件下での土層調査結果により判定されるべき課題であるが、その経緯についての有役な予測を可能にする調査を実施することも、極めて重要である。

既に、当干拓地における除塩の経過と土壌物理性改良問題の発生の解明に始まり、室内実験レベルでの石膏施用に伴う除塩段階の分析、灌漑水による吸着カチオンの制御に関するモデルの提示、及び水中沈定容積試験法による短期的な石膏混入効果の判定等について検討を実施してきた。ここでは、石膏を混入した試験圃場において、土層のCa粘土化がどのように進行するかを、主に人工散水を与えた場合の暗渠排水の分析に基づき検討するものである。

(2) 試験区の概要及び試験方法

試験区は、笠岡湾干拓地の中央部やや北寄りにある試験圃場（20ha）中に設けられた、面積1ha（短辺50m×長辺200m）の南北に細長い一区画であり、長辺に沿って西側は排水路、東側は耕作道である。干陸は昭和52年初頭であり、53年秋には短辺と平行に長さ50m、間隔10m、深さ80cmで暗渠が埋設された。その後、各種の圃場乾燥工が実施されたが、作付は行われていない。

さて、59年4月に試験区の北半分3ton/10aの割合で石膏をロータリーにより深さ30cmまで混入した後、スプリンクラーを定置配管した。5月18日には、散水試験前の状況を把握するため不攪乱土及び攪乱土を採取すると共に、地区中央部に地下水位測定用パイプを埋設した。散水は、6月21日の正午から翌22日の午前5時までの17時間継続され、総散水量は306mm（強度17.8mm/hr）に達した。散水停止7時間後の22日正午からは自然降雨が断続し、同日の22時までに27mm、23日0時から7時までに16.5mmを記録した。調査項目は、適当な時間間隔での暗渠排水量と採水及び地下水位であり、23日の午前7時までの43時間にわたり継続した。採水についてはECとpH並びにイオン濃度（陽イオンはNa⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、陰イオンはCl⁻、SO₄²⁻）を測定した。また、試験後の土層状態を知るため、7月6日に試験前と同様のサンプリングを行った。

(3) 試験結果

(3.1) 土層調査結果の検討

散水試験開始前の土壌の基本的な化学性を知るため、5月18日採取の攪乱土によりpH、CEC、交換性Na量、水溶性イオン量を測定した。結果は表-1の通りであり、pHは30cm深までの微アルカリ性からより深層の弱アルカリ性までに分布した。CECは、40cm深までは20以上でそれ以深は若干小さくなるものの大体20 (meq/100g土)前後となり、ESPからは40cm以深で40cm前後のNa性粘土の状態のままであった。一方、水溶性イオン量の測定結果において、深層ではNaとClの両イオンを主体とした構成であるものが、浅い層ほど除塩が進行して全体層が減少すると同時に、他のイオンの含有量が増加することが示された。特にその範囲で Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} が多いのは、石膏の溶解に伴い供給されたものと考えられるが、この時点におけるNaイオンとの交換に対する寄与の割合は明確にできない。

次に、表-2は散水試験の前後における含水比、乾燥密度、 $\text{EC}_{1:2}$ の測定結果（2ヶ所の平均）である。試験前は、耕起深の0～30cm層において同程度の乾燥段階であったものが、試験後は5cm深のみよく乾燥したものの深くなるに従い灌水の影響で、試験前よりも湿潤気味となった。石膏の投入がもたらす土壌物理性の改良効果がこれらのデータに現れるには、表-1の化学性のデータに対すると同様に、さらに時間を要すると考えられ、今後さらに追究すべき課題である。ただ、EC値からみた塩濃度分布は石膏を混入した0～30cm土層で大きく低下し、散水による除塩効果が明らかとなった。これには、耕起による通水性の改善も大きく関与していると考えられる。また、40cm以深でEC値が増加しているのは、表層で除去された塩と溶解した石膏との相乗効果であると考えれば、深層部での高い暗渠排水作用の確保が極めて重要であることを除塩のメカニズムの面からも示した結果といえよう。

(3.2) 暗渠排水の分析

散水試験区 0.2ha (50m×40m)の中央暗渠からの排水に関連する測定結果を、地下水位と降雨量の経時変化と共に図-1に示した。まず暗渠排水量についてみると、約散水開始40分後に排水を始めた後急激に増加し、約4時間後に定常値(9,500ml/min付近)に達し、散水中はその状態で経過した。散水の停止後は即座に反応して減少を続けるが、7時間後の自然降雨に対応して再び増減を繰り返すという、極めて敏感な排水特性を示した。この状況は地下水位の変化についても同様であり、散水開始後の急激な上昇と地表面近くでの定常状態、散水停止後の急激な低下と自然降雨への敏感な反応等をみせた。

次に、EC地についてみると、排水開始後に急増しても短時間の内に鋭いピークを示して減少し、暗渠排水量が定常となる時点以降は、3～4mV/cmの間を上下するという挙動を示した。EC値は含有されるイオンの濃度の間接的尺度であり、これより当初は排水と共に比較的大きな間隙中に含まれる塩が速やかに除去され、以後は緩やかな速度で水ミチへ向い拡散してきた塩が除去されていくという過程が想定される。そこで、陽イオンとして Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、陰イオンとして Cl^- 、 SO_4^{2-} の合計6種類のイオン濃度の経時変化について検討した。

まず、陰陽両イオンの合計値からみた当量関係は、図-1にみるようにほとんど差はなくバランスしており、pHが8.0から8.5の間にあるので陽イオンがやや多くなるべき点も、

現地での試験レベルからみれば優れて良好な結果といえる。すなわち、排水中に含有されるイオンはほとんどこの6種で占められることがわかり、濃度はEC値とまったく同様に排水開始後に鋭いピークをみせた後は漸減するが、排水量が減少すると共に再び緩やかに増加するという傾向を示した。

以下に、各イオンの濃度変化から明らかとなった点をまとめる。①干陸当初に組まれていたNa、Clイオンは、散水により水ミチ近傍への集積分が一旦洗脱されれば後の補給は緩やかで、低濃度値が続く。②全イオン濃度の変化への寄与度合が大きいのは、陽イオンはCa²⁺、陰イオンはSO₄²⁻で、投入した石膏が溶解・供給したものとみられる。③石膏からのCaイオンによるNaイオンとの交換によりCa粘土化が進行するが、このような強度の散水は石膏成分の無効流出をも生起することに注意する必要がある。

(4) 今後の課題

石膏の溶解を早め、イオン交換を促進させると考えられる散水試験において、多くの興味ある結果が得られた。室内でのカラム実験で得た、未電離の石膏がストレートに流去する現象がさらに増幅して生じたことから、用水の与え方にはなお慎重な検討を要する。また、今後のCa粘土化を含む土層変化を長期的に追跡していくことも重要となる。

Table 1 Chemical properties of soil before spray irrigation.

Depth (cm)	pH (H ₂ O)	CEC (meq/100g)	exchangeable Na (meq/100g)	ESP (%)	concentration (mg/l)					
					Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
0-2	7.10	23.03	2.01	8.7	19.8	4.8	34.7	20.3	10.5	78.1
2-10	7.41	22.63	2.20	9.7	24.2	5.6	49.8	25.0	10.1	108.6
10-20	7.32	22.53	3.09	13.7	40.6	7.0	74.7	35.3	30.2	161.0
20-30	7.25	21.77	4.27	19.6	77.7	9.5	73.4	51.4	64.9	193.3
30-40	7.71	21.73	5.77	26.6	109.3	10.3	55.3	46.2	91.7	165.5
40-50	8.39	17.88	7.09	39.7	174.0	12.2	33.6	33.5	171.8	122.4
50-60	8.47	16.23	6.08	37.5	204.5	12.9	21.8	30.9	216.6	101.5
60-80	8.39	18.30	7.65	41.8	286.9	16.2	24.2	44.0	340.3	102.1

Table 2 Soil Properties before and after spray irrigation.

Depth (cm)	before test (S _T . 5. 18)			after test (S _T . 7. 6)		
	moisture ratio (%)	dry density (g/cm ³)	EC (mS/cm)	moisture ratio (%)	dry density (g/cm ³)	EC (mS/cm)
5	42.1	1.017	5.4	23.8	1.083	2.2
15	54.7	1.050	5.4	54.8	1.054	3.8
25	59.6	1.018	7.1	66.2	0.969	4.7
35	73.1	0.909	7.9	75.1	0.900	8.0
45	73.4	0.905	10.1	80.8	0.853	12.7
55	74.7	0.894	12.1	76.0	0.893	11.2
65	83.5	0.829	16.2	83.3	0.833	17.6
75	92.4	0.774	18.1	94.6	0.763	20.2

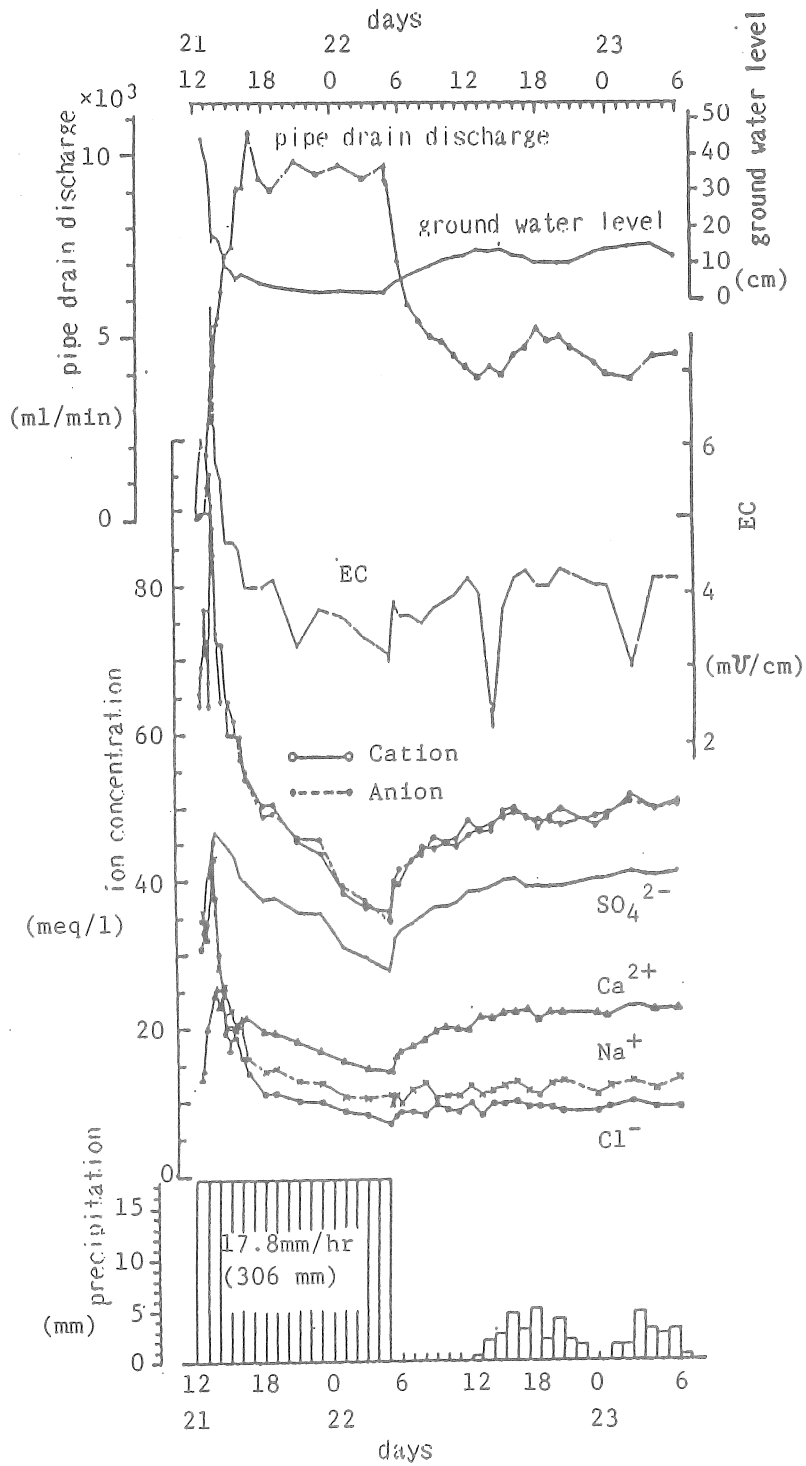


Fig 1. Analysis of pipe drain distcarge water

Applied Engineering Research on Improvement of
Ecological Environments in Sea Coast

HIROO INOUE

Faculty of Agriculture, Kagawa University

This paper is a record of studies on developing the method of monitoring the sea water quality by UV-visible spectrum analysis and on analyzing the process of extracting salt from the agricultural soils to improve them.

(1) Optical Properties and Dynamic Decomposition Processes of Dissolved Organic Matter in Coastal Sea Water (HIROO INOUE and TADASHI OCHI)

The water sample filtered throughout 0.45 μ Millipore filter to which was added only a drop of raw sea water was placed in a 10 L glass bottle and incubated in the dark. After selected time intervals, the materials were analyzed for the dissolved organic carbon and nitrogen and absorbance.

A little apparent change in the absorption coefficient at 340 nm was observed and 30-40 % of the initial DOC was utilized within the first 30-40 days. However, there were no significant changes throughout the rest of experiment. It seemed that, after the 50-80 days of incubation, the DOC was comprised largely of refractory organic carbon compounds that were relatively resistant to bacterial decomposition. At this time, a_{340} measurements on a series of water samples yielded a straight line when plotted against the concentration of DOC* or DON*. Average values of DOC*/DON* and $(a_{280} - a_{w,280})/a_{340}$ were estimated and compared with those observed under natural conditions.

(2) Environmental Control in Sea Coast (HAJIME NARIOKA)

Fundamental studies on salinization mechanism in soils, transformation of soil structure, formation of soil crust and transplantation of a halophyte were carried out. We paid attention to the fact that the halophyte from sea coast could flourish in a barren brackish area. By accumulated salts, the soil structure was made fine and its permeability was fallen, while Excoecaria aggallocha growing in sea coast survived after one year. The soil crust formed had an isolated porous structure. There was some negative correlation between EC and permeability of saturated soil. A positive correlation was found between diameter of plant trunk and bulk density of soil.

(3) Methods of Desalinization and Improvement of Na-type Soil in Kasaoka Bay Polder (KINZO NAGAHORI)

Desalinization was successful at the beginning of drainage and the field was improved physically. Several years after drainage, however, physical properties of soil were coming down with decreasing salt content and eventually crop productivity has been lowering. It is because the polder soil is composed of Na-type clay. It was made clear that the physical improvement and the desalinization could be facilitated effectively by changing the soil from Na-type clay to Ca-type clay. 1) A depth of the root zone was improved by mixing the plaster, as judged from ESP and EC curves. 2) A basal calculation method of plaster requirement was found according to the situation of soil. 3) Effectiveness of the plaster added was evaluated by measuring dispersion, sedimentation and volume. Moreover, in this paper the effects of plasters on desalinization were tested in the field irrigated by water spraying.