

2. 沿岸域の生態系と沿岸域環境の制御システムの相関的研究 (No.8905)

船田 周(作新学院大学)

本研究は、海域の環境制御に伴う生態系の変化と生産性との関係の究明、有効な制御システムの確立等、沿岸域を生物生産の場として活用するための技術的諸問題の解析と手法の開発を目的とした。

1. 海水および陸水の環境要因の計測 (井上裕雄、越智 正)

光学的方法による水質モニタリングについての基礎的研究を実施したが、特に溶存態有機物に主眼を置いた。消散係数 c_λ は $c_\lambda = c_{w\lambda} + c_{p\lambda} + c_{d\lambda}$ で構成される。 c_w 、 c_p 、 c_d はそれぞれ純水、懸濁態物質、溶存態物質にかかわる消散係数である。 λ は波長依存を示す。 c は吸収係数 a と散乱係数 b の和である。沿岸海域とくに内湾における海水および海底堆積物間隙水の溶存態有機物質の吸収スペクトル、DOC、DONの測定を行った。

海水に関しては、多様な有機物が溶存しているが、その中でベースとしての溶存態腐植様物質の吸収スペクトルとして $a_{d\lambda} = a_{d340} \exp\{-0.0155(\lambda - 340)\} \dots$ (1) を与え、これに260~270nm付近にピークを持つ他の成分が重畳しているとみた。また、海底堆積物の間隙水に関しては、 $a_{d\lambda} = a'_{d\lambda} + a''_{d\lambda}$ 、 $a'_{d\lambda} = a'_{d430} \exp\{-0.0155(\lambda - 430)\} \dots\dots$ (2)、 $a''_{d\lambda} = a''_{d430} \exp\{-0.0076(\lambda - 430)\} \dots\dots$ (3) のような合成がベースとしての溶存態腐植様物質の吸収スペクトルと見られ、これに260~270nm付近にピークを持つ他の成分が重なっていると解釈した。(1)あるいは(2)のモデルは、海底堆積物より抽出したfulvic acidの吸収曲線に、また(3)はhumic acidの吸収曲線に類似している。なお、DOCについては、 $DOC = DOC^* + DOC^{**}$ に分けて考え、 DOC^* は $a_{d\lambda}$ に係わる溶存態有機炭素濃度、 DOC^{**} は $a_{d\lambda}$ に関係しない溶存態有機炭素濃度とした。 $DOC^* = \gamma_\lambda (a_{d\lambda})$ の関係より、 $\gamma_{430} = 1.6 (\text{gC/m}^3) / (\text{m}^{-1})$ を推定した。

2. 沿岸域の環境制御 (長堀金造、成岡 市)

沿岸地域の農地土壌の塩類集積機構の解明とその改善法の具体的方策について検討した。

2.1 笠岡湾干拓地を対象にして、Na型粘土をCa型粘土に置換することによって、土壌性を改良する方策について明らかにした。すなわち、(1) 干拓地土層の深さの改善目標を石膏を客入することによってESPおよびEC分布でわかるように目標値を定めた。(2) 石膏の客入量の基本的な算定方法を確立した。(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。

2.2 土壌環境の改善と汽水環境で繁茂し得るマングローブを内陸に移植する技術を創出するため、現地土壌の塩類化機構の解明と、不毛化した土壌の改善方法を創出することについて研究した。作土中に集積した塩類を洗脱させるには、灌漑や降雨などによる降下浸透を作土層全体に行き渡るようにさせることが必要である。このために、毛管切断層により作土層を一時飽和状態にさせれば、作土層中に集積した塩類の大部分を洗脱でき、地下汽水に起因する塩の集積を抑制することも可能である。また、現地の土壌断面から、土壌水分は、植生域では下向き、裸域では上向き、というように常に同じ循環方向で動いていることが判断できた。

2. 沿岸域の生態系と沿岸域環境の制御システムの相関的研究 (No.8905)

船田 周 (作新学院大学)

I. 研究目的

沿岸部は都市、工業、農業、水産業、運輸など多くの社会活動が活発であり、海との調和とその活用に関する問題は近代社会にとってきわめて重要である。しかし海水の環境は陸上とはいささか異なり特殊であるとともに、複雑かつ厳しい条件下にあって未開発のままの研究領域が多く、今後改めて総合的に検討し発展させる必要がある。とくに海水理工学分野はその基盤を占めるものが多く最も重要であるにもかかわらず従来その意図は充分でなく一面的研究に終わる例が多い。従来、沿岸域の研究はそれぞれの学問領域の中で進められる場合が多いが、今後、化学あるいは工学と生物学あるいは農学が協力し、相互補完しつつ研究を進める必要がある。

周囲を海に囲まれた日本は、沿岸延長がきわめて長くかつ最も社会的活動が活発な地域である。この沿岸線を有効に利用した生産活動を推進するとともに、その生産活動を環境条件と調和させることはきわめて重要である。元来沿岸は陸地と海域の境界にあることから従来陸域として扱われるが、この海水環境条件は陸水と異なり塩分濃度のために複雑であり、従来主として外洋を対象としてきた海洋学とは別に、沿岸における人間活動との関連の中で、海水との係わり合いを科学的に検討する海水科学の領域として考慮する必要がある。

沿岸海域は外洋に面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である。この海域を生物生産の場として有効に利用することは、今後の生物資源開発産業として重要なテーマである。

このためには、多くの研究テーマが考えられるが、本研究においては海域の環境制御に伴う生態系の変化と生産性との関係の究明、有効な制御システムの確立等、沿岸域を生物生産の場として活用するための技術的諸問題の解析と手法の開発を目的とする。

II. 研究の組織

本研究を行うに当たって、次のような研究組織を編成した。

氏 名	所 属 ・ 職
船 田 周	作新学院大学・学長
井 上 裕 雄	香川大学・教授
越 智 正	香川大学・助教授
長 堀 金 造	岡山大学・教授
成 岡 市	東京農業大学・助手

Ⅲ. 平成元年度の研究報告

平成元年度においては、(1)海水および陸水の環境要因の計測、(2)沿岸域の環境制御、の2点に重点を絞った研究を行った。それぞれについての研究経過は次のとおりである。

(1) 海水および陸水の環境要因の計測

井上裕雄、香川大学農学部

越智 正、香川大学農学部

昨年に引き続き、沿岸水域における水質モニタリングの光学的方法に関する研究を行った。

1. 研究目的

沿岸水域における生態環境を水質の観点から、とくに懸濁態物質と溶存態物質についてモニタリングする光学的方法の開発を目的とする。沿岸水域における濁りを構成する物質として、①無機懸濁態物質、②有機懸濁態物質、③溶存態有機物が考えられ、きわめて複雑な構成であるが、総合的な水質指標としてのCOD、(DOC)、SSなどの観点から、この構成を計測する光学的方法について研究を行う。今年度は、とくに溶存態有機物に主眼を置いた。

2. 研究方法

一般に、海水中における平行光線束の消散は、①水そのものの消散(消散係数 c_w)、②懸濁態物質による消散(c_p)、③溶存態物質による消散(c_d)によって惹起される。

$c = c_w + c_p + c_d$ Visible regionにあつては、通常海水中の溶存無機物の影響は無視し得るので、溶存態物質としては有機物に的を絞ることができる。すなわち、 c_d としては溶存態有機物による吸収係数 a_d とと考えてよい。

香川県沿岸海域を対象にして、海水については、ワットマン・グラスファイバー・フィルター(GF/C)で濾過した。海底堆積物中の間隙水については、柱状に採取し、低温遠心機(Kubota KR/180A)にて間隙水を分離し、同様フィルターで濾過した。

自記分光光度計(Hitachi 1340)により濾過海水の240~700nmにおける吸光度を光路長5.0cm石英セルを用いて測定した。

溶存態有機炭素(DOC)に関しては、予め試水約3mlに1.2N HCl1滴を加え、高純度空気を50ml/minで3分間通気して、無機炭酸を除去した後、燃焼・非分散型赤外線CO₂分析計を具備した有機炭素分析計(Shimazu TOC-500)を用いて測定した。

3. 結果および考察

香川県沿岸海域の堆積物中の間隙水の吸収曲線を描き、同時にDOCの分析を行ったが吸収曲線のいくつかの例をFig.1.5、Fig.1.6、Fig.1.7、Fig.1.8に示す。

堆積物17測点のうちA-3(5-10cm層)を除いて、波長420~480nm程度の範囲について、吸収係数 $a_d \text{ m}^{-1}$ の波長 $\lambda \text{ nm}$ への依存関係を指数関数式で相関した。勾配として、-0.

0155 (±0.00040) を得た。

竹松・岸野・岡見(1979)が、海底堆積物から抽出したfulvic acidについて得た吸収係数と波長との関係(波長範囲350~700nm)によく一致する。

そこで、この勾配をベース値と想定して短波長域に外挿し(B1)、測定値(A)とこの外挿値との差を改めてプロットした(C)。この曲線Cには明らかに2つの肩の存在が認められた。そこで、300nmにpeakを持つ曲線(D1)を仮定すると、曲線CはD1とD2に分離し得る(Fig.1.5、Fig.1.7、Fig.1.8参照)。

Fig.1.6に示した例では、測定値(A)のパターンは幾分異なり、440nmより長い波長域でやや上方に反る。そこで、勾配-0.0155を持つベースライン(B1)を試行錯誤的に設定し、測定値Aとの差を求めたところ、波長440~600nm範囲で、指数関数的な波長依存関係が得られ、その勾配は-0.0076であった。この勾配は、竹松・岸野・岡見(1979)が海底堆積物から抽出したhumic acidについて得た吸収係数と波長との関係(波長範囲350~700nm)によく一致する。B1とB2の合成値を計算し、Aとの差を得てプロットしたのがCである。このプロットCは、Fig.1.5、Fig.1.7、Fig.1.8のCと類似のパターンである。前述のように、CをD1とD2に分解してみた。いずれの間隙水についても、300nm付近にpeakを持つD1と270nm付近にpeakを持つD2の存在が認められる。

沿海岸水の濾過海水の吸収係数について、その波長依存性を検討したが、そのうちの代表例をFig.1.1、Fig.1.2、Fig.1.3、Fig.1.4に示した。間隙水の場合に得た勾配-0.0155を使って330nmより長い波長域でよくフィットするようにベースB1を描き、測定値AとこのB1の差を、同様にCとしてプロットした。このCプロットは270nm付近にpeakを持ち、間隙水で得たD2とよく一致するパターンであった。

260~270nmの吸収peakは、すでにChanu(1959)、Yentsch-Reichert(1962)により明らかにされたものである。240nm付近以下の吸収係数の急な上昇はNO₃、NO₂等の影響が大きいのと思われる。

香川県沿岸の4海域で4回調査を行い、吸収曲線を得たが、270nmにおける吸収係数とDOC濃度の関係を描いたのがFig.1.9である。相関係数が0.86でかなり良い関係が認められた。しかしながら、このFig.1.9から a_{d270} が0に近づいても、DOCは0にいたらないことがわかる。

そこで、DOCについては、 $DOC = DOC^* + DOC^{**}$ に分けて考え、 DOC^* は $a_{d\lambda}$ に係わる溶存態有機炭素濃度、 DOC^{**} は $a_{d\lambda}$ に関与しない溶存態有機炭素濃度と置いて $DOC^* = \gamma_{\lambda}(a_{d\lambda})$ の関係により γ_{λ} を検討した。

4. 今後の課題

溶存態有機物に関しては、①植物プランクトン培養にかかわる溶存態有機物の形成とその腐植化のプロセス、②DOCの構成内容の究明、これらの現れとしての吸収曲線のパターンとレベルのDOC、DONないしは酸素消費量との関連性等についてさらに解明の必要がある。溶存態有機物の形成とその腐植化等の光学的特性を把握し、水質モニタリングとくに栽培漁業における水質劣化の予知の方向を探る。

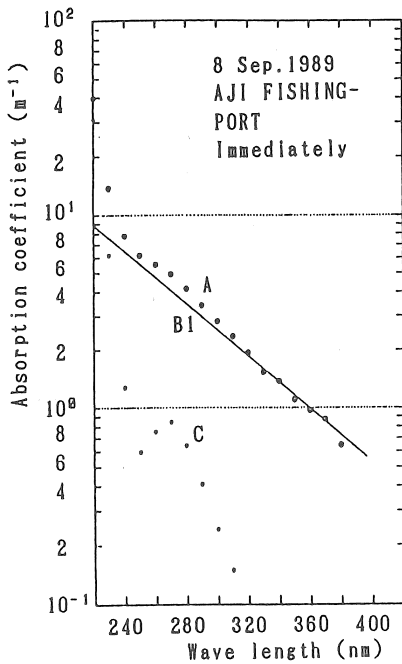


Fig. 1.1 Absorption curve for filtered water from Aji Fishing - port and its analyses: 8 Sep. 1989, Immediately

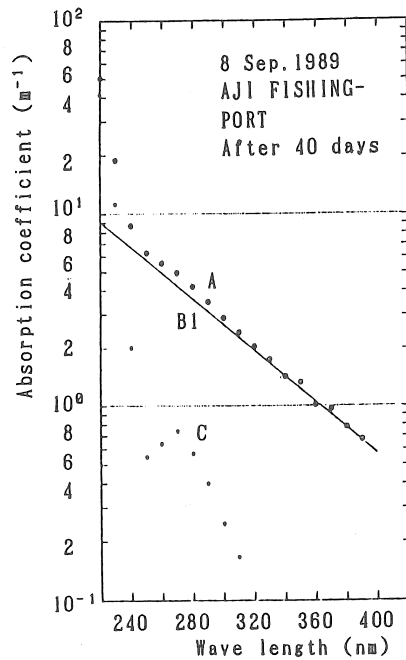


Fig. 1.2 Absorption curve for filtered water from Aji Fishing - port and its analyses: 8 Sep. 1989, after 40 days

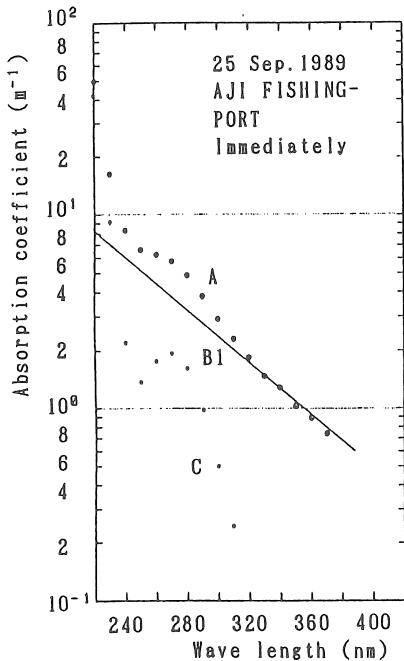


Fig. 1.3 Absorption curve for filtered water from Aji Fishing - port and its analyses: 25 Sep. 1989, Immediately

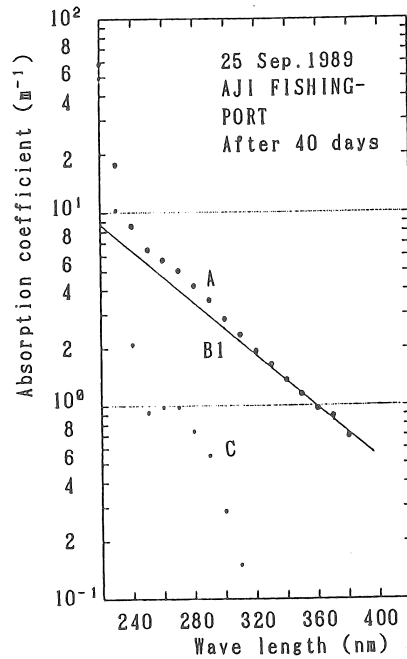


Fig. 1.4 Absorption curve for filtered water from Aji Fishing - port and its analyses: 25 Sep. 1989, after 40 days

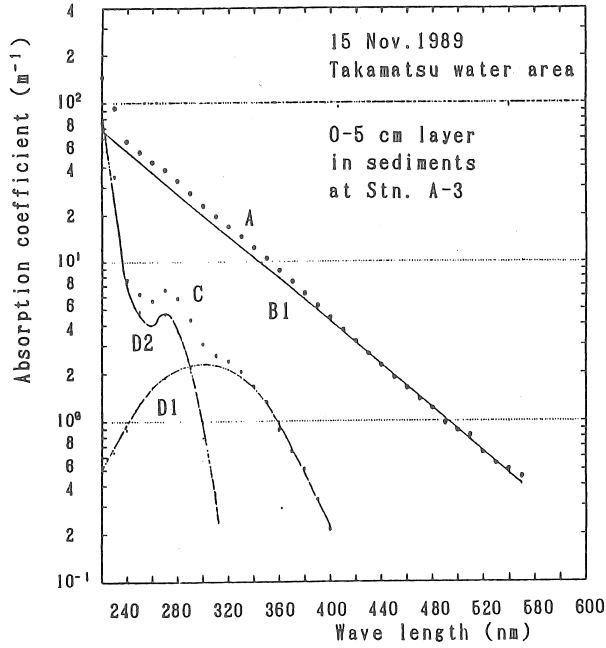


Fig.1.5 Absorption curve for filtered pore water in sediments from Takamatsu water area and its analyses : 15 Nov. 1989, 0 - 5 cm layer in sediments at Stn. A-3

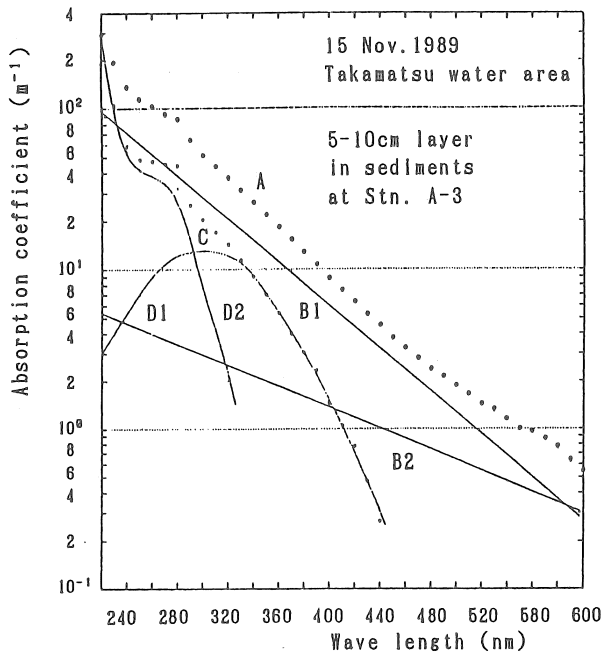


Fig.1.6 Absorption curve for filtered pore water in sediments from Takamatsu water area and its analyses : 15 Nov. 1989, 5 - 10 cm layer in sediments at Stn. A-3

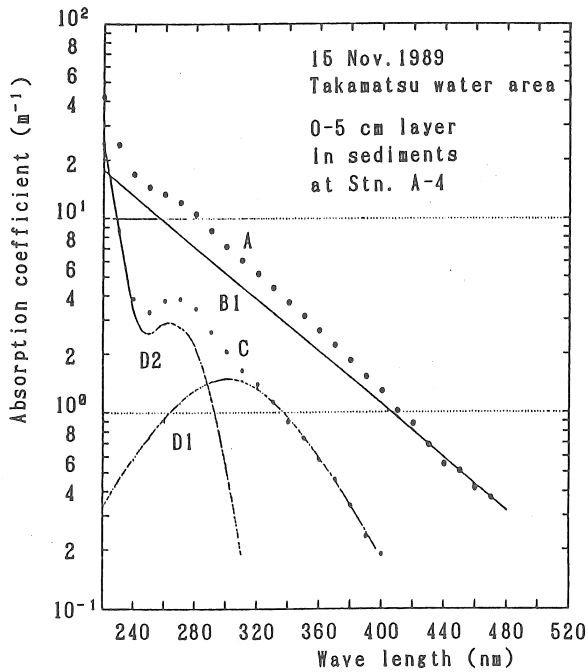


Fig.1.7 Absorption curve for filtered pore water in sediments from Takamatsu water area and its analyses : 15 Nov. 1989, 0 - 5 cm layer in sediments at Stn. A-4

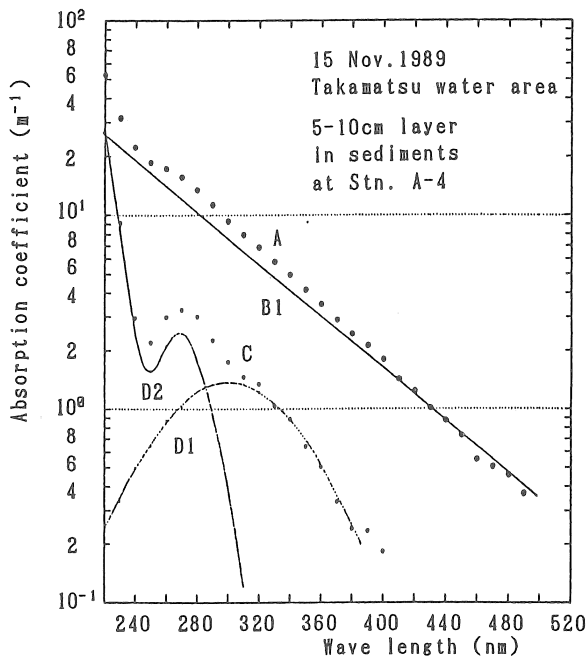


Fig.1.8 Absorption curve for filtered pore water in sediments from Takamatsu water area and its analyses : 15 Nov. 1989, 5 - 10 cm layer in sediments at Stn. A-4

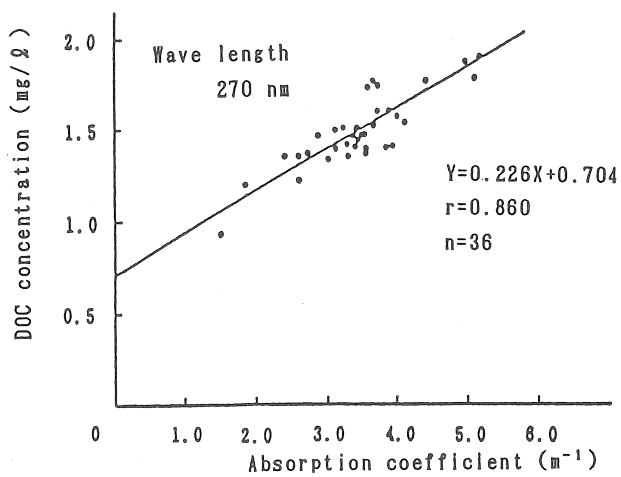


Fig.1.9 Relationship between absorption coefficient and DOC concentration for filtered sea water from Takamatsu water area (270 nm)

(2) 沿岸域の環境制御

(2-1) 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、岡山大学農学部

1. はじめに

笠岡湾干拓地において、将来にわたり安定した畑作営農を行い得るように除塩を進行させるためには、悪化した土壌の物理性を石膏の客入により改善した後に、適正な除塩用水量を与えるように計画を図ることが前提条件であることを明らかにした。

本研究では、現地において石膏を客入した土壌について室内実験と現地試験を行った試験結果について報告するものである。

2. 除塩目標の設定

除塩を目的とした土層の改良のため石膏を客入する前に目標とすべきESP値と除塩目標値を設定しておかなければならない。そこで、どの深さまでどの程度に除塩を図るかは、栽培する畑作物の耐塩性により定まるが、一般に、作物の耐塩性は大まかには根群域の平均塩分濃度に比例するといわれることから、作物根が直接分布する土層を0~30cmとし、塩分濃度分布の水平方向への不均一性および地表面の不陸等を考慮してさらに10cmの余裕をとり、地表から40cm深さまでを根群域と考える。そして、そこでの塩分濃度を植物の生育に支障の無い $EC_{1:2} = 2 \text{ mS/cm}$ 以下に制御することとする。また、あまり深い層までの除塩は深層部における無限量の塩の存在を考えると不可能で、むしろ当面は深層部の塩分濃度は高く保って凝集性のNa粘土の状態に置く方が合理的と考えられることと、それは石膏の直接混入が可能な経済的深さが施工機械の関係で50cm深までであることから、除塩対象土層深は50cmまでとする。従って、深さ40cmと50cmの間の10cm厚さの土層には、 2 mS/cm から改良開始時の 16 mS/cm までの急激な塩分濃度勾配をつけることになる。

同様にESP値を現況の40から10に改良する深さは50cmまでとなり、両者の目標分布をFig.2.1に示した。次にこのような目標分布を達成するための石膏による改良方法について検討を行った経過について述べる。

2.1 石膏による土層改良法の検討

まず、土壌面に散布した石膏を溶解させた浸透水による改良方法について考える。この場合、Caイオンは選択的に土壌に吸着されるため、Caイオンのみによる交換では表層から100% Caイオンに交換される($ESP = 0$ になる)まで、下層の交換は進展しない。よって、ここでの目標値である $ESP = 10$ に低下させるには別のコントロールが必要となり、使用した石膏を耕うん等により土壌中に攪拌混入する必要がある。そこで、実際圃場において深耕機種によって50cm深まで直接石膏を客入する方法をとった。

施用石膏量は、次のように計算した。まず、Caイオンの吸着割合が0% ($ESP = 100$)の土層1mを100% ($ESP = 0$)に改良するのに必要な石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)量は、全層にわたり $CEC = 20 \text{ meq/100g土}$ 、乾燥密度 $\gamma_d = 1.0 \text{ g/cm}^3$ と仮定すると、10a当り17.2tonと計算される。一方、ESP値を40から10に低下させる土層厚さが50cmであるから、施用

石膏量 = $17.2 \text{ ton} / 10\text{a} \times 0.5\text{m} \times (0.4 - 0.1) = 2.58 \text{ ton} / 10\text{a}$ となる。ただし、これはまったくの理論値であり、現実のESP値分布や土層状態、あるいは混入時の施工ロス等の要因により、検討を加える必要がある。よって、条件が異なる場合の必要石膏量に関する一般式を導くと、以下のとおりである。

$$\text{Ca (kg/ha)} = 20 (\text{ESP}_i - \text{ESP}_f) \times \text{CEC} \times \gamma_d \times D_{\text{soil}} / 100$$

20: Caの1当量

ESP_i: 未改良土壌の当初のESP%

ESP_f: 最終目標のESP% (目標ESP%)

CEC: 陽イオン交換容量 (meq/100g)

γ_d : 土壌の仮比重 (g/cm³)

D_{soil}: 改良土層の厚さ (cm)

これを石膏量に換算するには、石膏とCaイオンとの分子量比 (172/40) を上式に乗じて、必要なCaSO₄・2H₂O (kg/ha) を求めればよい。

3. 石膏客入効果の判定試験

3.1 改良試験における除塩段階の分析

3.1.1 試験の目的と方法

石膏客入時に生起すると予想される多くの現象のうち、土壌溶液と吸着相間とにどのような交換反応が進展するかを予め調査しておくことは重要で、それらの発現状態を把握するために円筒試験を行った。すなわち、陽イオンは土壌溶液を介して交換されるため、石膏客入に伴う交換反応の進展状況を、排除される土壌溶液のEC値および陽イオン組成変化の把握を中心に追求し、CaイオンによるNa粘土の改良過程について検討しようとした。

試験装置は、Fig.2.2の内径10cmの円筒下端10cm厚に形成した砂層上に、試験圃場の表層0~30cmより採取した生土を、現地状態を模すよう土層厚さ30cm (平均 $\gamma_d = 0.93 \text{ g/cm}^3$) に充填したものである。試験は、表層0~8cmに石膏を3 ton/10aと1 ton/10aの割で混入し、湛水と排水を継続した場合の交換過程を調査した。

3.1.2 排水のEC値推移からみた除塩段階の分析

Fig.2.3は、試験毎に円筒の最下部から流出する排水のEC値と累加排水量との関係を両対数紙上に描いたものである。これより、施用石膏量の差によるEC値の時間変化に若干の差はあるが、両者の形態は良く一致したのでこのようなEC値の推移を分析し、Fig.2.4に示す3段階に区分できると考えた。

まず、I段階は間隙水の排除に伴い、土壌に吸着されない陰イオンが排出される段階である。間隙水中の陰イオン濃度変化に対応する陽イオン組成の平衡が作られる。この段階の終了点の排水量は、Fig.2.3から明らかなように石膏区及び非施用区に関わらずほぼ一致し、これは土層の間隙飽和量 (Pore Volume) に相当することが分かった。I段階終了時のEC値をみると、非施用区より石膏混入量が多い区ほど高くなったが、これは元来間隙水中に存在したClイオンに対し、石膏に起因するSO₄イオンが加わったためである。

次に、II段階は交換反応により陽イオンの構成比率が変化していく段階である。液相中

のCaイオンと吸着相中のNaイオンとの平衡移動による交換反応の結果としての平衡溶液が排出されるが、灌水の進行に伴い液相と吸着相との構成比率の隔たりは徐々に減少し、排水中に占めるNaイオンの比率は次第に減少して行くのに対してCaイオンの比率が増加していく。この段階の途中で未溶解の石膏の品切れが生じ、石膏濃度は急激に低下する。初期の石膏施用量によりこの段階の終了点が規定され、このとき吸着陽イオンは最終値となる。

Ⅲ段階は、灌水水のイオン濃度と改良された吸着相のイオン構成が新たな平衡を作り上げて行く段階である。継続される灌水によって希釈され、新たな平衡状態を生じて行く段階でもあり、EC値は漸減しながら最終的には灌水のEC値と等しくなり、その時点でようやく陽イオンの構成比率の変化は終了しよう。

3.1.3 排水中のNa、Caイオン濃度変化からみた除塩段階モデルの検証

各排水のEC値測定と同時に、原子吸光光度計により測定した排水中のNa、Caイオン濃度と累加排水量の関係をFig.2.5に示す。これは石膏3ton混入時の結果であり、1tonの場合もやや弱いものの同様の結果となった。図より、Ⅱ段階後期でNaとCaの低減傾向が異なっているが、これは排除されるべきNaは十分に排除され、次いで過剰に存在していたCaがNaに遅れて排除されたものと理解できる。またFig.2.5をFig.2.3と比較すると、EC値とCaイオン濃度の低減傾向がほとんど重なることから、Ⅱ段階以降のEC値はCaイオン濃度に支配されているといえる。これはまた、Ⅱ段階後期におけるNaイオン濃度がCaイオン濃度と比べて微量な事からも理解される。

以上、排水中の陽イオン濃度変化の測定結果を検討すると、EC値の結果を基に考察した除塩段階のモデルは、ほぼ妥当なものであるといえる。なお、本試験において特に顕著な現象として、試験開始直後からCaイオンが多量に排水中に検出された事がある。一般に言われる交換クロマトグラフィー理論では、Caイオンが選択的に吸着されるため、Caイオンは吸着Naイオンが交換複合体から排除されるまで排出されないと考えられていることと矛盾する。この理由としては、浸透水の通過が大間隙を中心とするために、その部分を通じては交換されないか、あるいは未電離のままに石膏がストレートに流下したためと考えられる。また、陰イオンの複雑な挙動、あるいは混入時のNaイオンとCaイオンのイオン競合に伴う部分交換など、実際の石膏客入に当たり、施工法や有効客入量等についての多くの検討が必要であることが示された。

3.2 水中沈定容積による客入効果の判定

石膏の客入が効果的であったかどうかの判定は、長期的には現地気象条件下での土層の発達に待たねばならない。しかし、客入後の短期的な効果を判定する方法としては、土層の分散-凝集反応を最も良く反映し得る水中沈定容積試験が推奨されると考え、以下のモデル試験を行った。まず、試験方法については定まったものが無いため種々予備実験を行った結果、試料として乾物相当量10gの土と100mLのメスシリンダーを容器として用いた。方法は、全体の容量を100mLとして24時間放置後の沈定容積を測定し、次に上液40mLを純水と置換して外液濃度を低下させた時の沈定容積を測定するという手順を繰り返すものである。そして、上液の塩分濃度が作物生育に支障の無い0.5mS/cm程度(間隙水を基準としたときの土水比の試料から概算)に低下した場合の分散・凝集反応によって、土壌物理

性の改良効果を判定した。

供試料は、試験石膏客入工が実施され、石膏の散布はライムソー、混入は深耕ロータリーにより深さ50cmまで各々行われた。施工前の圃場中央部における代表的な土壌の物理・化学性の測定結果を、Table 2.1に示す。表層から下層に行くに従いヘドロ状態が強まり、70cm以深では含水比100%以上、EC 19.0mS/cmとなり、60cm以深でpH 8.3、CEC 20.3me/100g、ESP 37.2%でほとんど乾燥が及ばず、干陸直後の状態に近い結果といえよう。

さて、Photo. 2.1は石膏を1 ton/10aの割合で客入した試験区と、3 ton/10a客入した試験区の、第1回目の水中沈定容積試験結果を示したものである。両区の土壌特性はほぼ同様であり、1 ton 区の5 cm深で分散した以外は両区は同様の凝集状態にあった。これは、石膏客入土層0~50cmにおいて何れも石膏の分散抑制効果が現れたが、除塩の進行した5 cm深に対しては1 ton では不足気味であることを示したと言えよう。この状況を更に検証するため、上記の2地点に石膏無客入の試験区と3 ton/10a客入した試験区の2地点を加え、各点から5 cmと25 cmの2深度から採取した試料により実施した、7回目の測定結果をPhoto. 2.2に示す。これより、土壌の外液濃度が目標塩濃度の0.5mS/cmより低下した段階でも両3 ton区では分散が抑制され、十分な石膏の客入効果が発揮されたことが示された。

4. まとめ

除塩の停滞した笠岡湾干拓地に石膏を客入し土層改良を進展させるため室内並びに現地試験を実施した。室内での円筒試験で生じた、未電離の石膏がストレートに流去する現象が、3 ton/10aの石膏を30cm層に客入した除塩試験区において増幅して現れたことから、一部の石膏が無効に消費される可能性のあることが考えられる。しかし、ライムソーと深耕ロータリーとの組合せにより50cm深まで3 ton/10aの石膏を客入した圃場では、水中沈定容積試験の結果からは混入深まで土壌の分散が強く抑止される効果が明確に見られた。

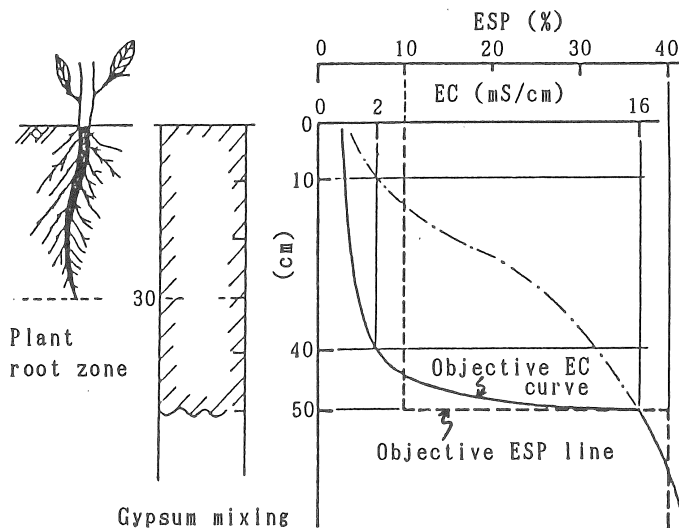


Fig. 2.1 Objective soil layer condition in Kasaoka Bay Polder

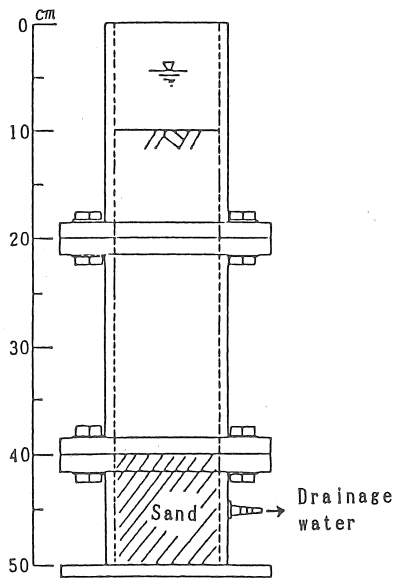


Fig.2.2 Outline of test cylinder

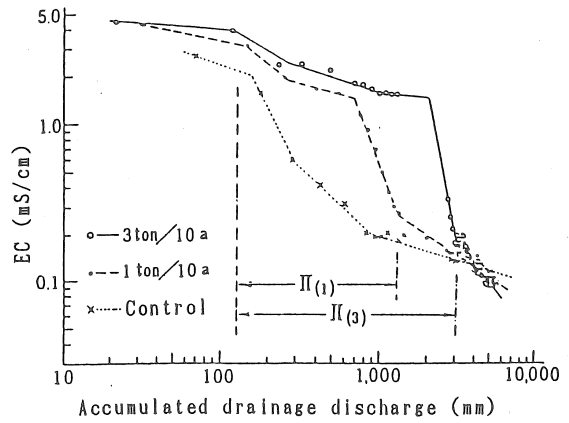


Fig.2.3 Degree of drainage discharge EC from the test cylinder by different mixing volume of gypsum

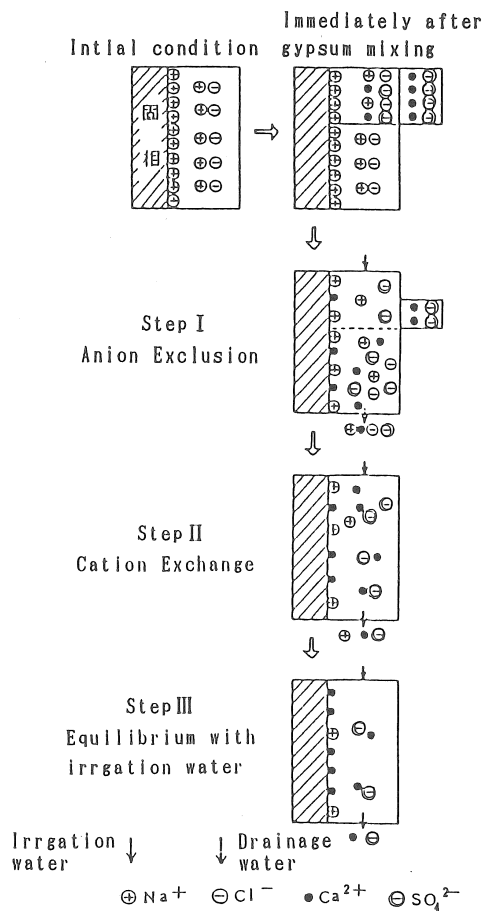


Fig.2.4 Step model of salt reaching after gypsum mixing in soil

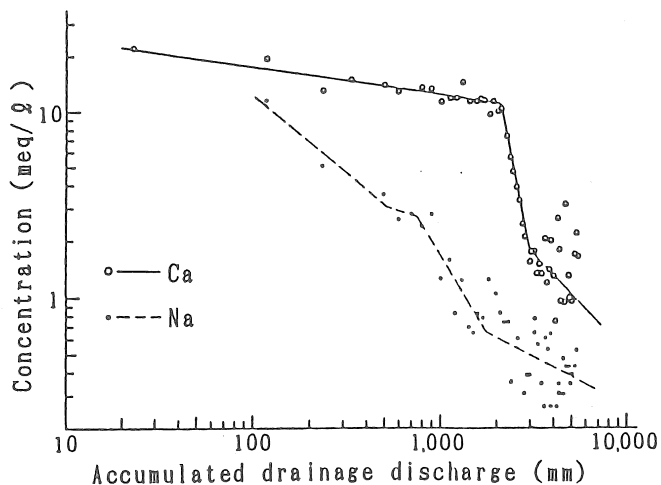
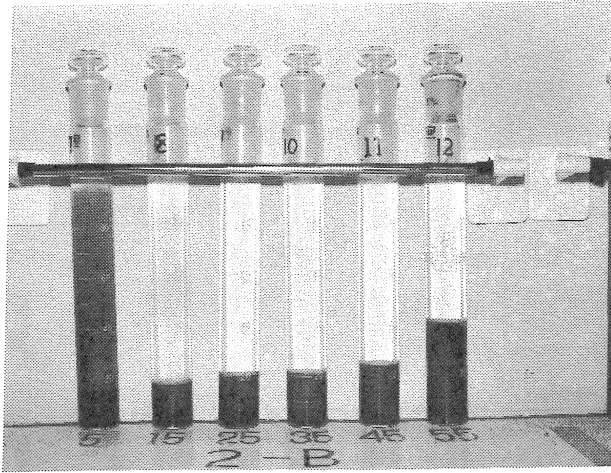


Fig.2.5 Decrease trend of Ca and Na in the drainage water after the mixing of gypsum (3ton/10a)

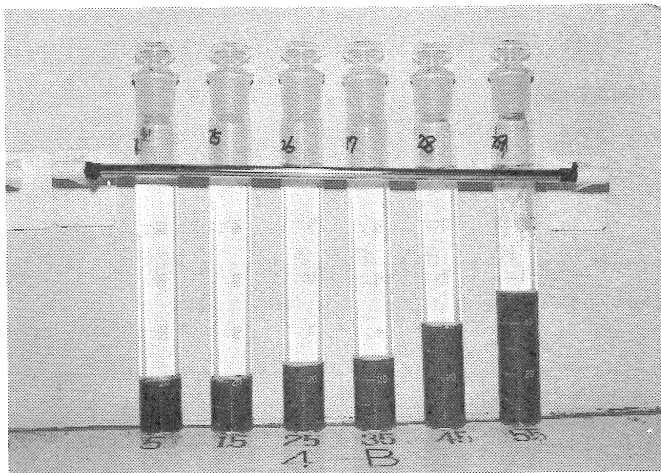
Table 2.1 Physico-chemical properties of the soil used for the measurement of sedimentation volume in water

Depth (cm)	Moisture ratio (%)	Dry density (g/cm ³)	E C (ms/cm)	p H (H ₂ O)	C E C (me/100g)	E S P (%)
5	26.9	1.112	1.5	8.4	19.4	15.6
15	49.7	1.104	5.5	8.3	20.2	15.7
25	51.9	1.106	9.8	8.3	19.2	17.3
35	60.5	1.018	10.4	8.2	18.8	19.6
45	75.4	0.879	12.1	8.4	17.4	26.7
55	87.8	0.802	12.9	8.3	17.6	32.1
65	93.4	0.769	15.5	8.3	20.3	37.2
75	106.6	0.700	19.0			

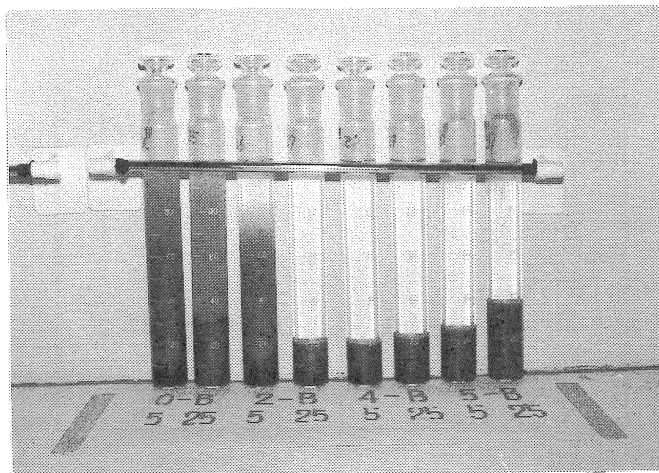


2 - B (1ton/10a)

Photo.2.1 Degree of dispersion of soil by the different mixing volume of gypsum (with depth)



4 - B (3ton/10a)



0 1 3 3 (ton/10a)

Photo.2.2 Degree of dispersion of soil by the different mixing volume of gypsum (at 4 test points)

(2-2) 内陸性塩害地における土壌環境の改善に関する基礎的研究

成岡 市、東京農業大学総合研究所

1. 研究目的

本研究は、不毛化した塩害地を元の植生帯に戻すために、土壌環境の改善、さらには汽水環境で繁栄し得るマングローブを内陸に移植する技術に関する基礎研究を行ったものである。本来汽水域に生育するマングローブを内陸部に移植する主たる理由は、マングローブそのものが高品質の薪炭としてエネルギー源になり、しかもマングローブを内陸に定着させることによって地域生態系の保全が期待できるからである。檜垣ら¹⁾によるこれまでの調査の結果、①マングローブの根系は密度の高い土壌に進入しない、②水の移動がなければ長時間の内には土壌と植物根系への酸素供給が閉鎖される、③土壌中の有機物含量や養分が不足している、④内陸地域では太陽光が強く気温の日較差が大きく湿度が一貫して低い、などの理由から「マングローブは内陸地帯では簡単に成長し得ない」ということが示唆されている。また、これまで、畑地でのNaClの挙動^{2,3)}、土性・塩類飽和濃度・水分含量の相違による塩類の挙動^{4,5)}、土壌カラムによる塩類・水分・熱などの挙動^{6,7,8)}、干拓地のヘドロの除塩機構⁹⁾など多数の研究報告があるが、いずれも単一土層を対象とした研究であり、作土層直下に粗間隙構造(毛管切断層)を設置して成層土壌構造とした塩類集積防除の研究は全くない。

そこで本研究は、第一に現地土壌の塩類化機構の解明を進め、第二に不毛化した土壌の改善方法を創出することを目的とした。

2. 研究方法

まず室内試験において、切断層を挟んだ地表面から地下水面までの層における土壌水移動の特徴、切断層上部の作土層における水の蒸発とNaCl集積の特徴についてそれぞれ基礎実験を行った。続いて、タイ国東北部の現地を調査し、本年度の研究段階においては、土壌断面調査、ライシメータの建設ならびに試験圃場の造成、マングローブの移植試験の準備などを行った。

3. 研究結果

3.1 水の移動と切断層

3.1.1 毛管上昇

粘土分を含むローム土の粒子(現地ではローム～シルトを主体とした土壌断面である)にNaイオンが吸着すると、粘土粒子が分散する。その結果、粗間隙が減少し微細間隙が増加する。分散割合が高くなることによってpF水分曲線の変曲点は高pF側に移動していき、保水力が増加するとともに毛管上昇高が増大する。

3.1.2 降下浸潤

地下水面が浅い場合、作土層内の降下浸潤速度は、時間の経過に伴い徐々に遅くなり、最終的には $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sのオーダーに落ち着いていた。地下水面が深い場合では、浸潤開始

直後から $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sと低いオーダーでほぼ一定した浸潤速度となった。これをFig. 2.6にまとめて示す。この現象は、地下水位が深い場合をみると、地下水面上の土層の水分含量が低く毛管張力が高くなっており、その結果下向きに浸潤速度が大きくなっていることに起因している。浸潤前線が地下水位に達して層全体の水分含量が平衡に近づくと、作土層内の浸潤速度が減少する (Fig. 2.7)。

3.1.3 切断層の構造

切断層に必要とされる機能は、地下汽水の毛管上昇を止める機能だけでなく、作土層中の塩類も速やかに洗い流す排水機能も持たなくてはならない。この両機能を満足させる切断層の設定位置は、①栽培作物に応じた作土層厚 (15~25cm) を確保する、②最高地下水位に下層の有効毛管上昇高を加えた高さよりも高い位置に設定する、③降下浸透を速やかに行わせるために調整層の排水性を高める、等を条件とする。

3.2 地表面マルチによる塩類集積の抑制

地下水給水時と地下汽水給水時とでは、後者による土壌内の含水率が高く、特に団粒を保持するロームで顕著に現われた。これは、Naイオンが団粒構造を単粒化した結果、微細間隙量が増大して毛管張力が高まったことを示唆するものである。蒸発量抑制に効果があったのはビニールマルチであり、その結果塩分濃度も低く抑えられた (Fig. 2.8)。

3.3 現地調査

3.3.1 調査地

調査地のタイ東北部コンケンはコラート台地の北東部に位置する (Fig. 2.9)。コンケン付近では、ほとんどの低地において塩類土壌が発生する。調査地のEC_{1:5}をみると、0~10cm深 (表土) で約7000 μ s/cm、10~20cm深で約4000 μ s/cmと高濃度に塩類が集積している。これらの塩類土壌の分布は広い面積で見られる。

3.3.2 土壌断面

調査地の土壌断面は、高濃度の塩集積地において土層改良を行う裸地 (第1地点) および樹木などが残る植生地 (第2地点) について調査した。

第1地点 (Fig. 2.10) は、地表から地下水面まで5層を成している。地表面の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) が形成されており、それから10cm深までシルト質壤土の単粒構造、28cm深まで砂質壤土の単粒構造、100cm (坑底) まで壤質砂土の壁状構造 (この層はさらに28~56cm深: 鉄集積層、56~100cm深: マンガン集積層) となっている。28cm深は土性および土壌構造が異なる境界であるが、これは不連続な境界で、おそらく降水時の土砂流出によって運ばれた堆積層と推察できる。この境界から下は、斑鉄の形態状況から地下水変動帯となっていると判断できる。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。土壌硬度は地表面から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。

第2地点 (Fig. 2.11) は、樹木植生がある地点で、第1地点と対照的な土壌断面となっている。すなわち、土性はほぼ同じ壤質砂土であるが、構造が粗く、土壌硬度は4~18mm

と軟らかくなっている。根系は90cmまで進入していた。

3.3.3 試験円筒（ライシメータ）の建設

マングローブ移植の培地のために第1地点でコンクリート製の円筒を4基組み立てた。1基の円筒は、内径750mm×高さ1000mm、底から150mmの高さに排水管（外径54mm、内径44mm）を設けている。円筒内には、底から200mm厚に砂利（径30～40mm）、650mm厚に現地土壌と粉殻の混合土を詰めた。各ライシメータにマングローブの種子を植えて、現在生育調査中である。

3.3.4 土層改良圃場の造成

前述の円筒試験は灌漑水を還流させることで土壌内の水と空気の循環を促すことを意図しているが、圃場レベルでのマングローブ移植を考慮して、10m×20mの土層改良圃場を造成した。この圃場面から200cmの高さには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。マングローブ苗の移植には、40cm×40cm×40cm深の四角坑を掘り牛糞を混合した。各移植孔にマングローブ苗を移植して、現在生育調査中である。

4. 考察

4.1 切断層

切断層の果たす役割は、下層の間隙径よりも極端に大きい間隙径を持つ構造を作土層と下層との間に設置することにより、人為的に土壌断面における鉛直方向の毛管張力の非連続状態を作り出すものである。切断層が持つ毛管張力が下層のそれよりも大であれば、その境界面には下向きのポテンシャル勾配が働き、毛管上昇は遮断される¹⁾。その度合は、境界面におけるポテンシャル差が大きいほど強くなり、地下水位の上昇に伴ってその差が小さくなれば弱くなってくる。切断層が持つポテンシャルを下層のポテンシャルより小さくとるほど下内の地下水位に影響されずに毛管上昇を遮断することが期待できる。水分の保持特性（毛管張力）を決定するのは、間隙径の分布であり、本質的には土粒子の充填状態、形状、配向状態などの影響が現れてくる。

切断層の厚さは、その機能上重要な要素となる。毛管上昇から考えれば、切断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、降下浸透の際には切断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。

4.2 塩の洗脱

降下浸透では、作土層と切断層との境界面において、切断層が持つ毛管張力が作土層のそれよりも小さいほど、作土層から切断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切断層を降下するという現象が見られた。切断層の不飽和透水係数は、毛管張力の減少（絶対値が大きくなる）につれて作土層や調整層よりも急激に減少する。したがって、切断層の飽和透水係数が大きいにもかかわらず、作土層、下層の不飽和透水係数は切断層より大きくなる。このことから、水分量の多い作土層から水分量の少ない切断層への水の浸入が、作土層がほとんど飽和するまで起こらないという理由を説明することができる。また、降雨あるいは灌漑水

が作土層と切断層を通過して地下水面に達した時、降下浸透水の浸透速度が下層におけるそれよりも大きければ切断層に湛水が生じることになる。

土層中に集積した塩類を洗脱させるには、灌漑や降雨などによる降下浸透を作土層全体に行き渡るようにさせることが必要である。そのため、作土層での部分流は、塩類を溶脱させるという点に関してあまり好ましくない。しかしながら、切断層により作土層を一時飽和状態にさせれば、作土層中に集積した塩類の大部分を洗脱させることが期待できる。

4.3 塩の集積

切断層の直下まで高濃度の汽水が上昇していれば、塩分は作土に浸入してしまう。作土層まで汽水が上昇すると切断層の毛管張力より作土層のそれの方が大きいから、塩分は作土層に容易に拡散する。その後、地表面からの蒸発があると作土層に塩が集積する。Fig. 2.12 a は、切断層を付けた成層カラムと切断層の無い単一層カラムとでは、蒸発量が単一層で約2.3倍多くなることを示している。Fig. 2.12 b は、塩の集積が単一層で約2.3倍（地表面）高かったことを示している。これは、蒸発によって下方からの水移動が生じ、同時に塩も上昇していることを示している。したがって、汽水の毛管上昇が少ない成層カラムでは塩の集積を抑制することが期待できる。

4.4 現地土層

第1地点と第2地点の典型的な土壌断面を比較すると、高濃度塩集積地の第1地点では透水性が低い緻密な構造であるのに対し、植生が残る第2地点では透水性が高い粗い土壌構造となっている。また、第1地点では地表面にクラスト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、地下水位が高いために、常時地下水は上向きに移動（毛管上昇）していると推察される。また、クラストが多孔質構造を持っているため、地表面付近の土壌内水分の蒸発はいくらか抑制されている。

これらのことから、雨水は、第2地点のような透水性が高い植生域から涵養され、第1地点のような透水性が低く蒸発速度が大きい裸域で毛管上昇と蒸発がなされる。すなわち、土壌水分は、植生域では下向き、裸域では上向き、というように常に同じ循環方向で動いていると考えることができる（Fig. 2.13）。

5. 今後の課題

以上、現地土壌の塩類集積防除対策を目標にして、室内試験および現地調査など基礎事項の把握を進めた。本年度は試行錯誤的作業を続けた。特に植物生育の根本となる現地土壌の物理特性に関し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のプロセス、作土層および切断層における温度勾配に伴う水の移動、土壌の通気性、現地における地下水面からの毛管上昇の実態、などの究明が望まれる。そこで本研究をさらに進展させるために、①現地土壌の物理性解析、②蒸発・塩集積による現地作土層の構造変化の解析、③地表面クラスト構造の解析、鉄・マンガン等の含有量測定、④地下排水性を促進する現地土壌に対応した切断層構造の設計、⑤マングローブなど耐塩性植物の生理と根圏土壌との相互関係の検討、⑥切断層を施工した試験圃場でのマングローブ移植試験などについてさらに検討を進める必要がある。

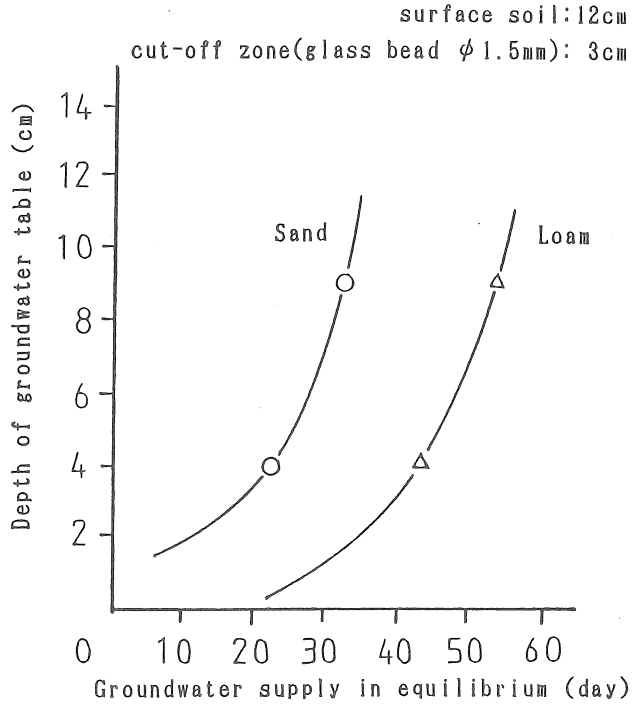


Fig.2.6 Depth of groundwater table and Groundwater supply

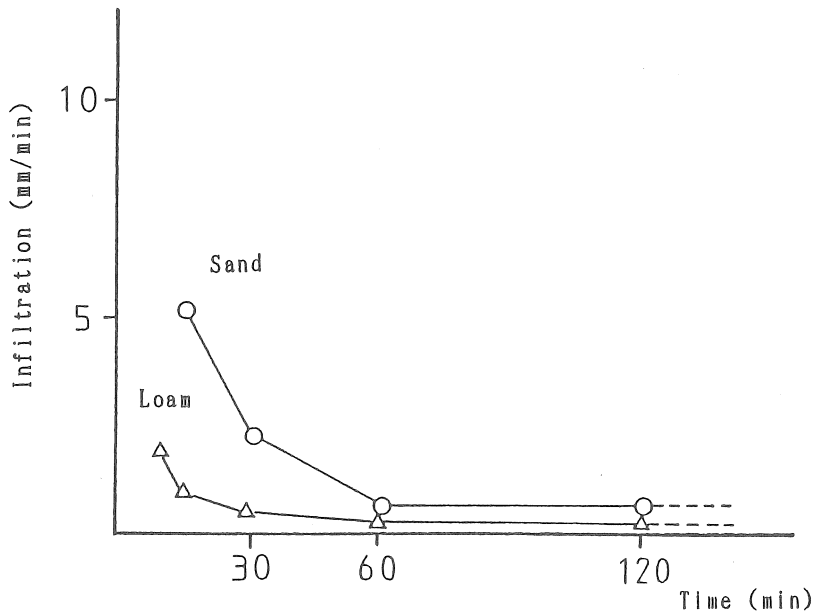


Fig.2.7 Infiltration in surface soil

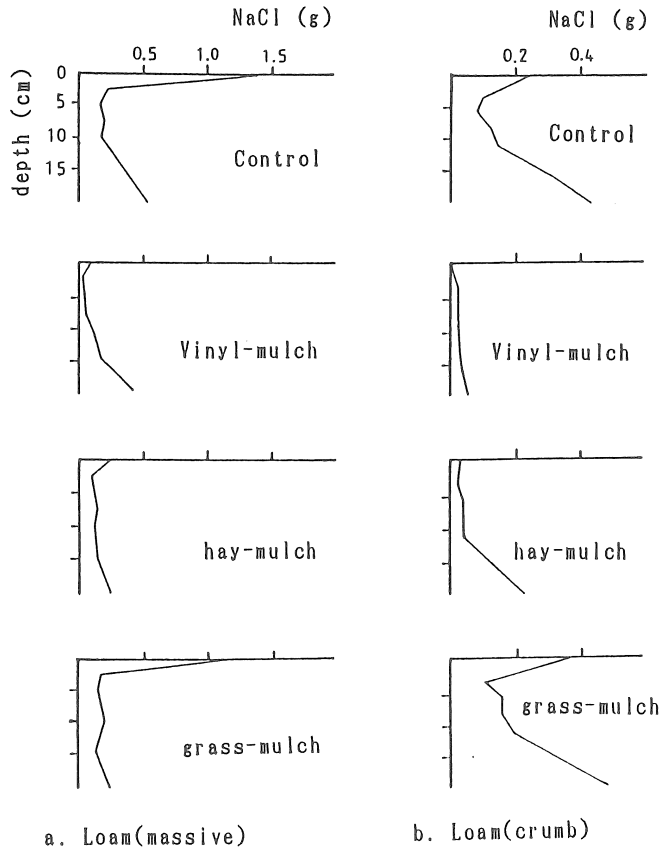


Fig.2.8 Distribution of salt

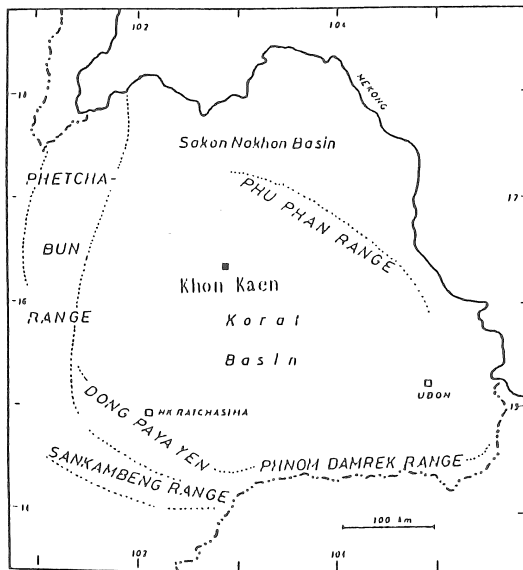


Fig.2.9 Northeastern Thailand¹⁾

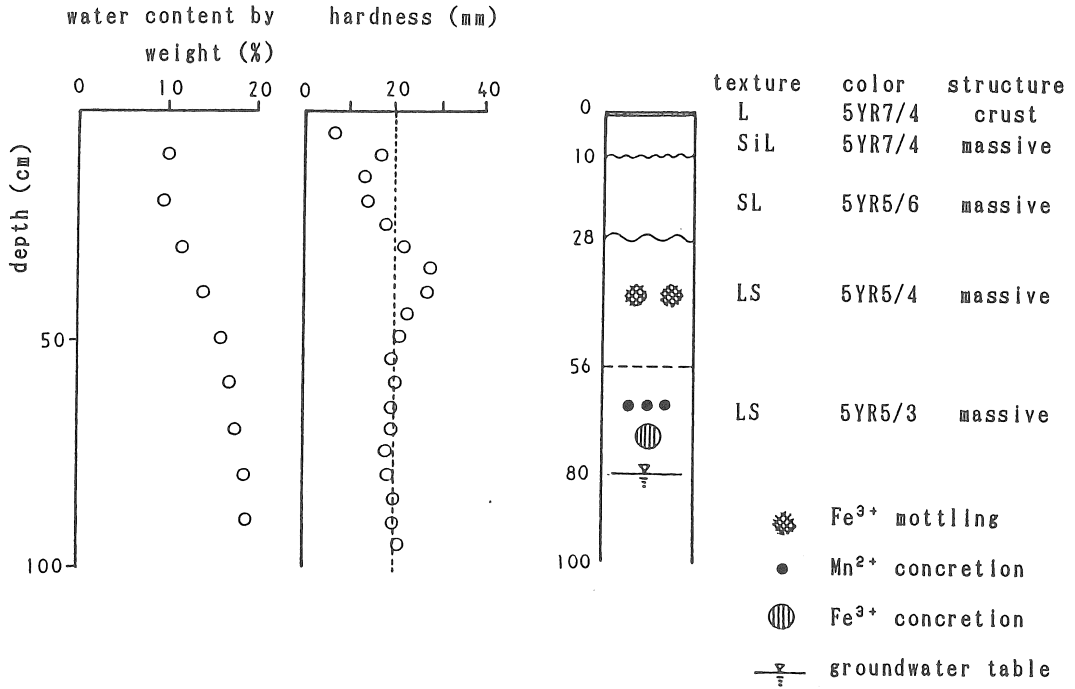


Fig.2.10 Soil profile at point No.1

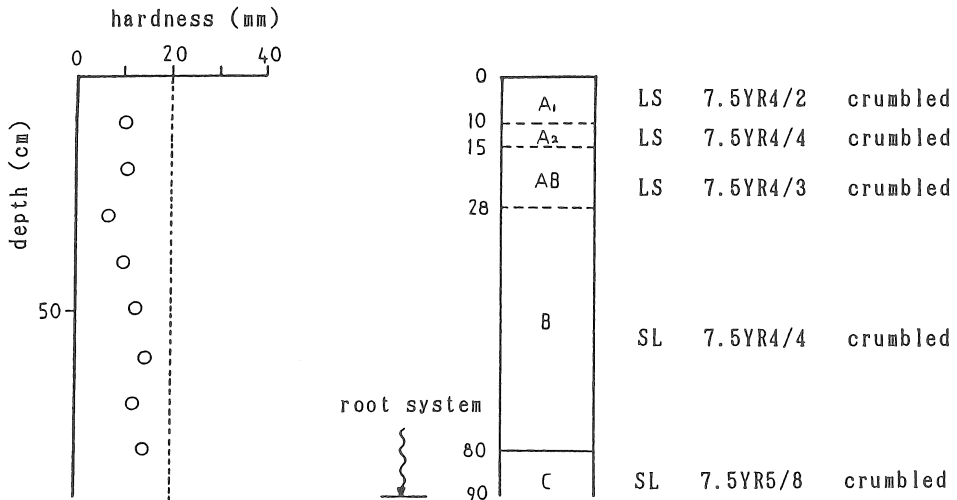


Fig.2.11 Soil profile at point No.2

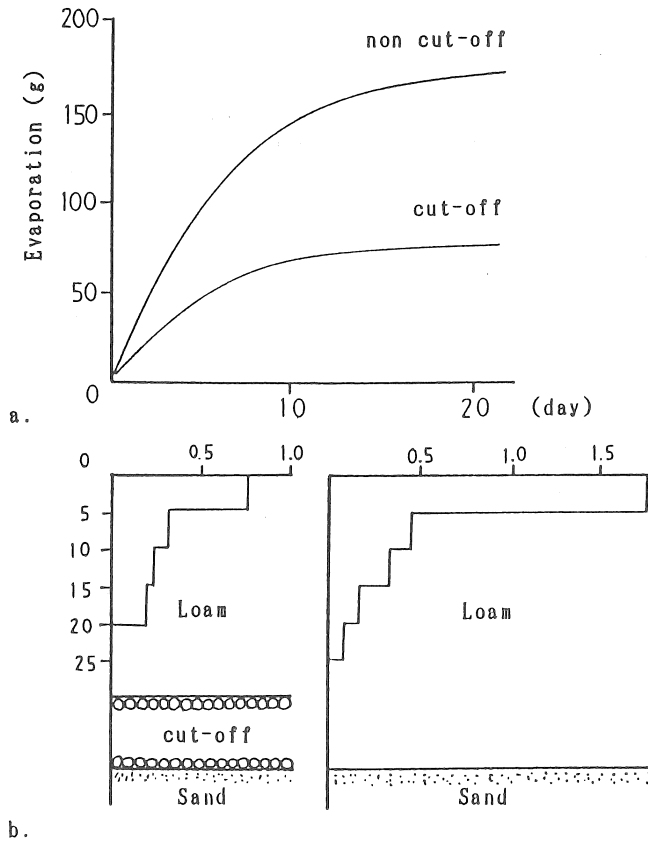


Fig.2.12 Evaporation and salt accumulation in surface soil

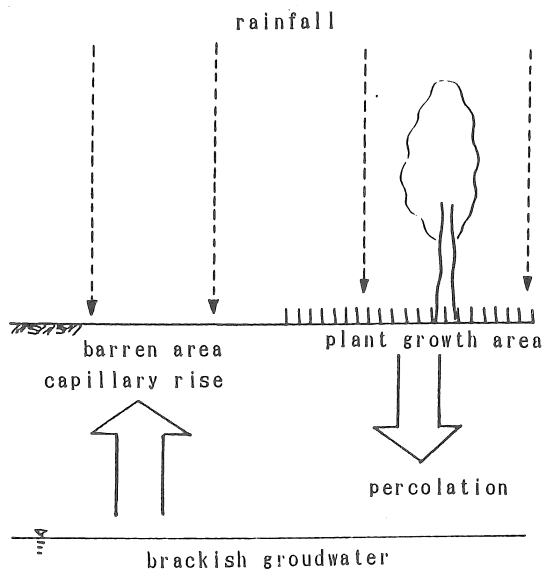


Fig.2.13 Groundwater circulation

**The Research of Correlation Between
Ecology and Environmental Control System in Sea-Coast**

Shu FUNADA

Faculty of Business Administration, Sakusin Gakuin University

The aim of the study are; to research the relationship between ecological changes and productivity together with environmental control of the sea range, to establish an effective environmental control system, and to analyze and develop methods of technological problems in using sea-coast as a place of biological productivity.

1. Measurement of Environmental Factor in Sea Water and Land Water

(Hiroo INOUE, Tadashi OCHI)

Primary studies were carried out on monitoring the water quality by considering the fundamental features in the light attenuation process. Soluble humic substances in sea water seem to cause a basal absorption which steadily increases in the range 240 - 400 nm towards shorter wavelengths, except the presence of an absorption band near 270 nm. For this basal absorption curve, a model was applied as follows.

$$a_{d\lambda} = a_{d340} \exp [-0.0155(\lambda - 340)]$$

Upon the basal absorption curve a distinct absorption peak at 270 nm seems to be lain.

Absorption bands near 270 nm for filtered pore water in marine sediments were found, similar to most filtered sea water. However, another noteworthy feature was that pore water in marine sediments gave a very weak shoulder near 300 nm.

For the pore water, it would have to be considered that two types of basal absorption curves are present as follows.

$$a'_{d\lambda} = a'_{d430} \exp [-0.0155(\lambda - 430)] , \quad a''_{d\lambda} = a''_{d430} \exp [-0.0076(\lambda - 430)]$$

Moreover, the relationship between DOC and $a_{d\lambda}$ was discussed in detail.

2. Environmental Control in Sea-Coast

(Kinzo NAGAHORI, Hajime NARIOKA)

We studied how to analyze and improve the process of extracting salt from the agricultural soil by the sea-side.

2.1 For instance, Kasaoka Bay Polder, we made it clear that we improve a method reforming Na-type clay with Ca-type clay. (1)Depth of the root zone was fixed and objective value was gained to show ESP and EC curve by mixing plaster. (2)A fundamental calculation method of plaster requirement was fixed. (3)Effectiveness of the adding plaster by measuring dispersion, sedimentation and its volume various mixing ratio.

2.2 A fundamental study on salinization mechanism at in-situ soil and a method of improvement of barren soil for mangrove transplanting to inland were done. We pay attention that mangrove can prosper in brackish area.

For leaching of accumulated salt in surface soil, we need percolation spreading whole of surface soil by irrigation or rainfall. Accordingly, if surface soil is saturated temporarily by the existence of the cut-off zone for capillary water, most of accumulated salt in soil can be leached and salt accumulation caused by brackish groundwater can be controlled.

Soil water in soil is circulating on same direction which downword in plant growth area and upword in barren area from in-situ soil profiles.