

土壤管理用水量について

三 野 徹*

On the Requirement for Soil Improvement

Toru MITSUNO

Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama

1. はじめに

土壤管理用水や除塩用水は、現在のところ土地改良事業の計画・設計において、必ずしも一般に認知されているとは言えない。しかしながら、実際の営農においてその必要性は広く認められており¹⁾、灌漑施設の容量がこのような用水利用のために大きく不足をきたしているところもでてきている²⁾。このような土壤管理のための用水は、今後、農業水利計画上で重要な意味を持つてくるものと思われるが、それには多くの要因が複雑に係わっており、一般的取り扱いにはきわめて難しい。

ここでは二つの側面、すなわち、①灌漑水による溶解物質の移動と土壤の吸着反応との相互関係、ならびに、②灌漑水による塩分集積と除塩に関する課題を取り上げ、土壤管理用水量の決定のための基礎理論について整理を行うと共に若干の考察を行う。

塩類土壤と灌漑との関係については、既に古くから研究が進められてきており、現在ではほぼその理論体系は確立しているとみられる³⁾。しかしながら、それらの研究はいずれも乾燥地域を対象としており、わが国のような湿潤地域において、かならずしもそれらの理論がそのままの形で適用できるとは限らない。本文は、そのような乾燥地を対象として展開してきたこれまでの理論を踏まえながら、わが国の気候・土壤環境のもとで適用できる理論の展開方向の模索を目的としてとりまとめたものである。

2. 土壤中の可溶性成分の移動と吸着平衡

1) 土壤中の可溶性成分の移動に係わる基本要因

土壤中の可溶性成分の移動と分布を検討するに際して、以下の三つの特性を考慮に入れることが基本となる。①土壤はCECで特性づけられる大きなカチオン吸着能力を持っている。②土壤中には多種類の溶解イオンが存在し、相互に影響を与えながら共存している。③それらのイオン類は主として土壤水に溶解した形で輸送される。

このような条件の下で、与えられた土壤特性と土壤水分の移動状況に応じて、土壤中の可溶性成分の移動・集積と分布が決まる。これらの関係を定量的に把握し、人為的に制御できるパラメータを調節して、設定した土壤の管理目標値を達成することが、土壤管理の基本となる。以下ではそのための基礎式を整理し、若干の考察を加える。

2) イオンの吸着平衡

土壤に吸着しているカチオンと溶液中に存在するカチオンの間には一定の平衡の関係が成立する。多種類のイオンが共存している場合には、次のGapon式として知られる実験式によってその関係を表すことが出来るといわれている⁴⁾。

$$Q_1 + \sqrt{Q_{2+}} = K_G \cdot C_1 / \sqrt{(C_{2+} / 2)} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 Q_1 、 Q_{2+} ：それぞれ、1価、2価の吸着カチオン量、 C_1 、 C_{2+} ：それぞれ、1価、2価の溶液中のカチオン濃度、 K_G ：Gapon定数。

この系内に1価と2価のカチオンのみが存在しているとする、電気的中性条件から次の2式が成立しなければならない。

土壤中の吸着カチオンについて、

$$Q_1 + Q_{2+} = \text{CEC} \quad \dots\dots (2)$$

溶液中の溶解カチオンについて

$$C_1 + C_{2+} = C_0 \quad \dots\dots (3)$$

* 岡山大学農学部

ここで、 C_0 : 溶液中の全アニオンの濃度。

この三つの関係式は、土壤中に存在する複数種のイオンが共存する状況の下での吸着平衡関係を表現する基本式である。ただし、現代の溶液理論ではもっと正確な理論式も提案されているが、少なくともここで目的とするような土壤管理用水量の決定のための工学的取り扱いとしては、これらの関係式で十分と言える。

いま、土壤中の1価カチオンの代表として Na^+ を、2価カチオンの代表として Ca^{2+} を考えることとする。上の三式から Q_1 および C_1 を消去して整理すると、次のような関係式にまとめることができる。

$$(1-N)/N = K_G \cdot 2C_0 \cdot (1-f)/\sqrt{f} \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 $N = Q_{2+}/\text{CEC}$ 、 $f = C_{2+}/C_0$ であり、それぞれ、CECならびに全陰イオンに対する Ca^{2+} の占める比率を表す。

溶液濃度 f にたいする吸着量の変化率は、後述するように、イオンの分布を計算する際に重要な意味を持つ。

そこで、 N の微係数を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} C_p &= dN/df \\ &= (2f+1) \cdot (1-N^2) \\ &\quad / \{ 2\sqrt{2} \cdot K_G \cdot \sqrt{C_0} \cdot \sqrt{f} \cdot (1-f) \} \quad \dots\dots (5) \end{aligned}$$

上の(4)、(5)式をもとに、 $K_G = 5 \text{ (mol/l)}^{-1/2}$ と置

いて、 $N \sim f$ 、 $C_p \sim f$ の関係を整理すると、図-1を得る。

この図からいくつかの特徴を見いだすことができる。最も基本的な特徴は、非線形吸着特性である。溶液濃度が薄くなるにつれ、その非線形性はきわめて強くなる。曲線が上に凹であることは、吸着される Ca^{2+} の比率が溶液中の Ca^{2+} の比率よりも大きいこと、つまり、2価カチオンは選択的に土壤に吸着されることを示している。しかも、その選択性は低濃度ほど強く、とくに低濃度比率($f=0.3$ 以下)で急激に強くなるのが分かる。

吸着平衡特性に応じて N の微係数も非線形性を示すが、 f が0.3以上ではほぼ一定と見なせる。 f がそれより小さくなると、急激に増加して、数倍以上の値になるのが分かる。

取手は、最近、吸着平衡関係が土壤中では速やかに達成されること、 Na ベントナイトの Ca 化過程において、Gapon式がほぼ成立すること、さらにFreundlichの吸着式も成立することを報告している⁵⁾。Freundlich式はGapon式と同じように吸着平衡の非線形関係をうまく表現するが、パラメータに全溶液濃度(アニオン濃度) C_0 を含んでいないために、溶液濃度への非線形的な依存性を表現することの出来ないことが指摘できる。

3) 浸透水によるカチオンの輸送

浸透水による土壤中の溶解物質の輸送現象については、古くから多くの研究が進められてきている。それらの成

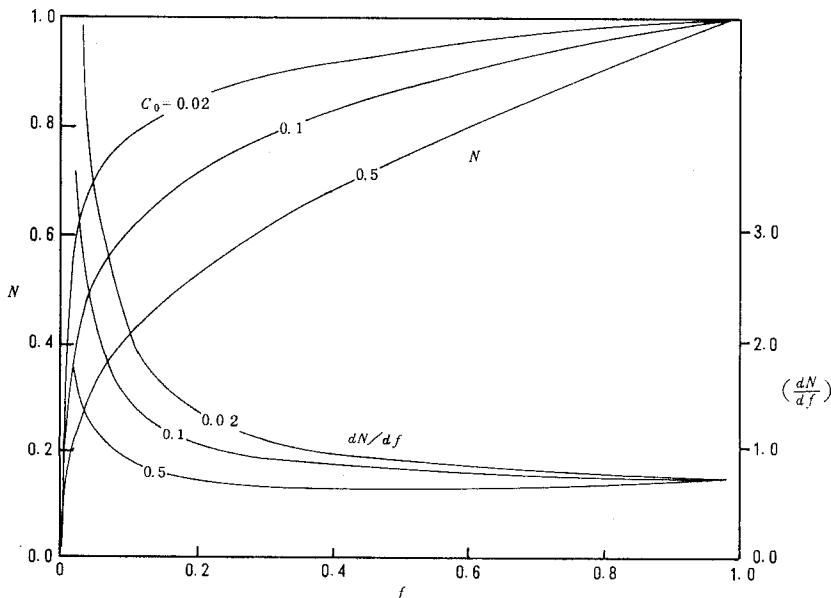


図-1 吸着平衡曲線とその勾配

(Gapon 式、 $K_G = 0.5$)

果によれば、浸透水による物質輸送は一般的に対流型輸送と拡散型輸送とに分けられ、次のように表されている⁶⁾。

$$J_i = C_i \cdot q - D \cdot \nabla C_i \quad \dots\dots (6)$$

ここで、 J_i : i 物質の輸送フラックス、 q : 浸透流速、 D : 拡散係数、 C_i : i 物質の浸透水中の濃度

吸着がほとんど無い砂や、アニオン、また、比較的濃度の変化範囲が小さい場合の線形吸着については、(6)式の多くの解析解が導かれ、この解から予測される物質輸送と実際の現象の間により一致の見られることが確認されている。具体的課題への適用上の技術的問題はともかくとして、土壌間隙内での溶解状態のイオンの輸送については、ほぼ理論的説明は終わっているといえよう。

一方、吸着量が間隙内の溶解量に比してきわめて大きい一般の土壌については、問題はかなり複雑になる。例えば、CECが20 meq/100g、間隙率が60%、単位体積質量が1.04で、間隙が全て水で満たされ、そのイオンの濃度が0.1 eq/l であるような土壌を考えよう。この土壌の吸着イオン量と間隙水中の溶解イオン量は前者が後者の3倍強となり、また可動性の土壌水が全土壌水の数分の一であることを考えるとき、吸着イオン量と、浸透水と共に動くことのできる間隙中の溶解イオン量との間には、1オーダー以上の差が生じることになる。すなわち、一般的な土壌では吸着イオンを無視することが出来ず、逆に吸収イオンの取り扱いの方が間隙水中の溶解イオンの取り扱いよりもより重要となることがわかる。

以上で述べたことを具体的に示すために、吸着量を考

慮した次の式を考えてみよう。

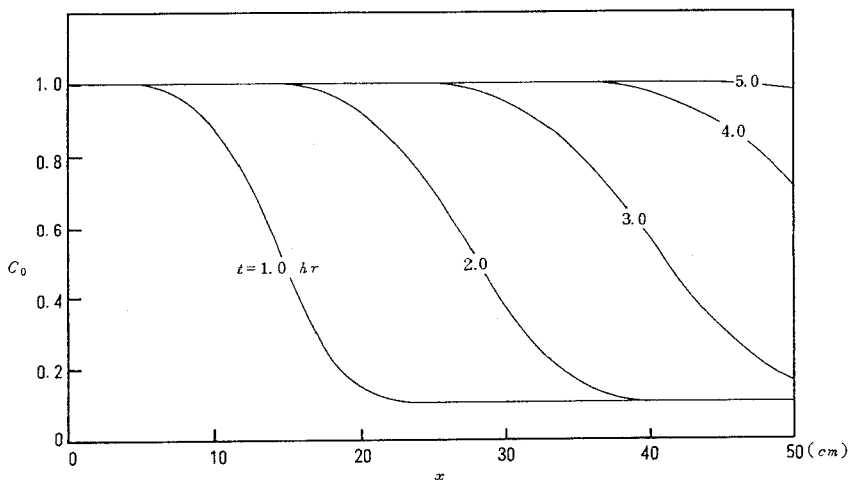
$$\partial S / \partial t = -\nabla J \quad \dots\dots (7)$$

ここで、 S : 吸着量 ($\rho \cdot N \cdot \text{CEC}$) と間隙中の溶解イオン ($\theta \cdot f \cdot C_0$) の合計値で、土壌中の総カチオン量である。 ρ は土壌の単位体積質量、 θ は間隙率である。この式は土壌水による輸送量 J と吸着量及び間隙中に存在する交換性カチオンの総量 S についての収支関係を整理したものである。

先に示したように、吸着平衡式は強い非線形特性を持つために、解析的な解法は一般的には適用できないので、数値解によってこの式が持つ意味を検討してみる。ここでは数値解法として、数値分散を巧みに利用した方法⁷⁾を基本として、先ず土壌に吸着されないアニオンの輸送式を解き、ついでカチオンの吸着平衡式を用いてそのアニオンに対応する共存カチオンの比率を吸着平衡式 (Gapon式) を用いて配分する方法を適用した。したがって、複数カチオンの共存下で土壌の吸着平衡関係(5)式と、土壌水によるイオン輸送(6)式、そしてカチオン収支式(7)式を連立させて解くことになる。

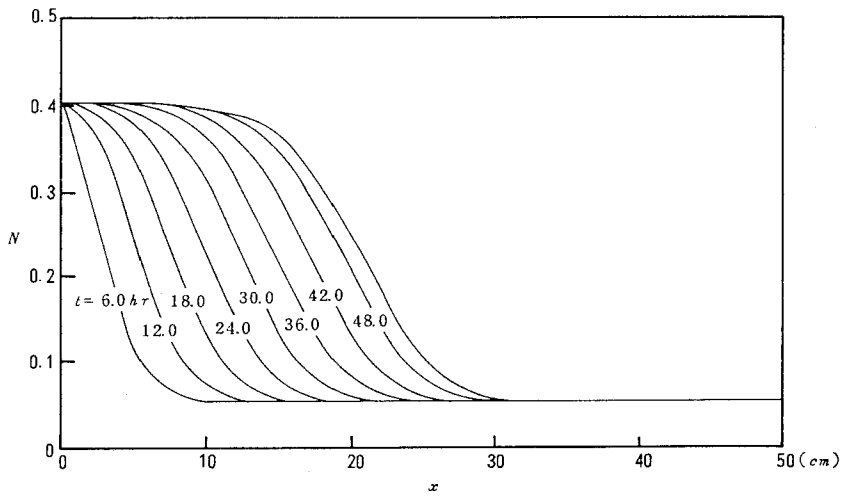
結果の一例を図-2に示す。この図から次のことが分かる。

- ① アニオンは土壌に吸着されないとしているために、きわめて速やかに移動する。その際に水理学的分散の影響を受けて、前線は次第にぼやけて行く。
- ② それに対してカチオンは、1ポアボリューム(カラム内の総間隙水量)に相当する浸透水の積算量が通過しても、その交換前線はカラム長の1割にも達

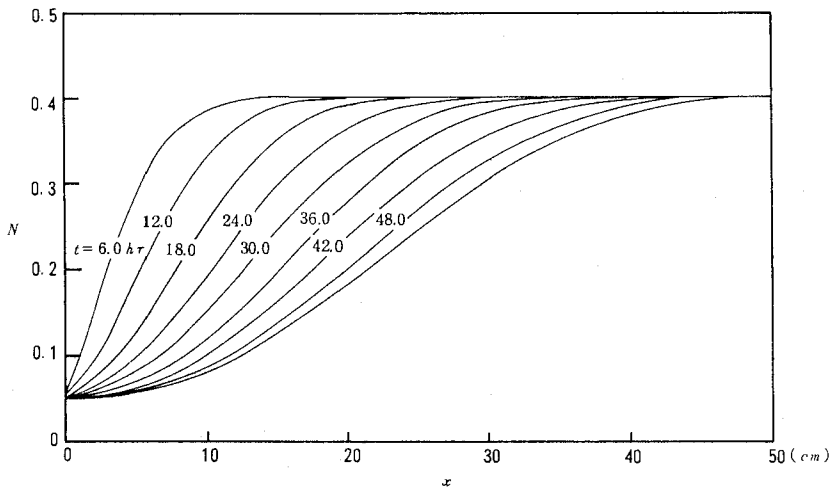


(a) アニオンの輸送状況

土壤管理用水量について



(b) Ca^{2+} による置換状況



(c) Na^{+} による置換状況

計算条件

$$\left[\begin{array}{l} D = 0.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad q = 0.02 \text{ mm}/\text{s} \\ \rho = 1.4 \text{ t}/\text{m}^3, \quad \theta = 0.4, \quad CEC = 20 \text{ meq}/100\text{g} \\ C_0: \text{初期条件 } 0.01 \text{ N}, \text{境界条件 } 0.1 \text{ N} \\ N: 0.4 \sim 0.1 \end{array} \right]$$

図-2 数値解析結果の一例

しない。これは浸透水中の溶解イオン量がきわめて少量であるために、輸送量が吸着交換量に追いつかないためである。

- ③ カチオンのうちでも選択的に吸着を受ける Ca^{2+} の交換前線と逆に、選択的に吸着から離脱傾向にある Na^+ の交換前線の形は大きく異なる。前者では曲線が立っており、いわゆるピストンのように進行して行くのに対して、後者では横に広がっており、時間経過とともにますます広がって行く傾向にある。

結局、土壌の吸着特性を考慮すると、浸透水によるカチオンの輸送はアニオンとは全く異なった現象を呈することが分かる。土壌による吸着の選択性が高いカチオンではピストンのように置換前線が進行してゆくが、その速度は土壌による吸着イオン量によって決まる。とくに置換前線の分散はカチオンについては、アニオンのように水理学的な分散効果を直接反映したものではなく、主として吸着平衡曲線の非線形特性に由来して発達することが分かる。

4) 交換前線の取り扱い法について

土壌改良用水量や除塩用水量を検討する場合には、浸透水による吸着イオンの交換前線の進行が問題となる。この吸着イオンの交換前線の進行は、吸着平衡関係から溶液中のイオン組成と密接に関係することになる。すでに前項で検討したように、交換前線の平均的進行状況は、主として浸透水による対流輸送と土壌と間隙水との間の吸着平衡関係に規定され、拡散輸送の効果は主として交換フロントの分散形状を規定すると考えて良いことが分かった。とりわけ Ca イオンによる Na 土壌の改良に関しては交換前線の立ち上がり急であり、前線の分散形状はあまり問題とはならないこととなり、対流輸送項と吸着平衡特性のみを取り上げて十分であるといえる。

以上のような仮定のもとでは、交換前線の鉛直一次元方向の進行は、先の(7)式に(6)式を代入して得られる次の偏微分方程式で表現できる。

$$\partial(\rho \cdot dQ/dC + \theta) / \partial t + q \cdot \partial C / \partial x = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

この式はクロマトグラフィー過程を表す方程式に他ならない⁸⁾。この(8)式は次の二つの常微分方程式(特性曲線)に分解できる。

$$\left\{ \begin{aligned} dt/dx &= (\rho \cdot dQ/dC + \theta) / q & \dots\dots\dots (9) \\ dC/dx &= 0 & \dots\dots\dots (10) \end{aligned} \right.$$

この式は、濃度一定($dC/dx = 0$ 、あるいは $dC/dt = 0$)の点で、(9)式の逆数である次式に従って、一定速度で進行して行くことを示している。

$$dx/dt = q / \{\rho \cdot dQ/dC + \theta\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

つまり、地表面で与えられた境界条件(地表面での浸透水の濃度)は、時間経過とともに一定の速度で地下へ向かって進行して行き、その速度は浸透速度 q 、土壌の単位体積質量 ρ 、間隙率 θ そして土壌の吸着平衡曲線の勾配(dQ/dC)によって決まることが分かる。

ここで(dQ/dC)は、吸着平衡関係にGapon式を適用すると解析的に求めることが出来る。すなわち、先の(5)式で示した(dN/df)を適用すると、CECと C_0 から次のように計算できる。

$$dQ/dC = (CEC/C_0) \cdot (dN/df) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(12)式はG. H. Boltらのいう『平均浸透距離: x_p 』⁹⁾の進行状況を表し、(11)式は『分配比: R_0 』¹⁰⁾の定義に対応するものである。

この関係式から分かるように(dQ/dC)あるいは(dN/df)によって、交換フロントの進行速度が変化する事になる。(11)式は図-1に見るように、全溶液濃度が薄くなるにつれ、また、 Ca イオン比率 f が0.3以下で強い非線形性が見られ、このような領域では低濃度点の進行速度は急激に遅くなる。したがって、 Na 土壌中に Ca 溶液を浸透させると、分散により前進する低濃度前線より、後からくる高濃度部分の方が速く進行して追い越す形となる。つまり前線の濃度分布は急激に立ち上がった、いわゆるピストンの『積極的交換』¹¹⁾の形となる。一方、逆に Ca 土壌を Na 溶液が浸透する場合には f の大きい部分(Ca^{2+} 濃度の高い部分)が分散によって前方に形成され、後方に f の小さい部分が残される。そして、前方に分散した f の大きい部分は速やかに進行し、後方の f の小さい部分は遅れるために、前線の分散はますます広がることになる。いわゆる『消極的交換』¹¹⁾前線が形成されることになる。

前線の平均的な進行速度は(11)式の分母、つまり、 $\{\rho \cdot (CEC/C_0) \cdot (dN/df) + \theta\}$ によって決まるが、CEC、 C_0 、(dN/df)という土壌の吸着特性に関係する項と θ という間隙水に関する項に分かれ、前者が後者に対して1オーダーほど大きくなるために、土壌の吸着特性によって置換前線の進行が規定されることになる。なお、アニオンについては、(11)式において $CEC = 0$ と見なすことができ、その進行速度は(q/θ)、つまり、土壌水の真流速に等しくなることが分かる。

結局、土壌に吸着されるカチオンの交換前線の進行は、ほとんど土壌の吸着平衡特性(1)式によって規定されることになり、前線の分散の状況も、水理学的分散の効果というよりは、むしろ吸着平衡特性の非線形性に由来するものといえる。

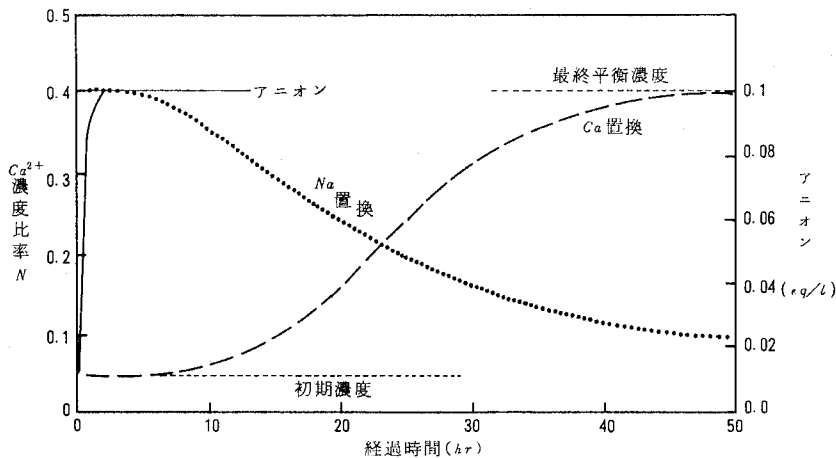


図-3 数値解析結果の破過曲線 (BTC) 表示 (10 cm 地点、実線：

アニオン、点線： Na^+ 置換、破線： Ca^{2+} 置換)

5) Ca イオンの吸着交換の段階

先のシミュレーション結果を基に、10cmの位置におけるカチオンの濃度の時間変化を整理すると、図-3が得られる。アニオンの前線は1時間程度で通過してしまうのに対して、カチオンは約10倍程度の遅れをともなってその点を通過する。さらに、 Ca 土壌の Na イオンによる交換と Na 土壌の Ca イオンによる交換とは、その通過の形は大きく異なっている。 Ca イオンによる置換ではやや遅れて交換前線は到達するが、急激な濃度上昇となる。それに対して Na イオンによる置換では、比較的速く置換前線は到達するが、 Na イオン濃度の上昇 (Ca イオン濃度の減少) はゆるやかで長時間にわたり尾を引いている。

このようにアニオン、1価のカチオン、2価のカチオンは土壌中を通過することによりふるい分けられ、それぞれ特徴的な間隙水のイオン組成となって流下して行く。このイオン組成の変化は、10cm地点で回収した浸透水のイオン組成の時間変化に対応している (破過曲線)。

干拓地の Na 粘土を Ca イオンで交換することは、土壌の物理性改良に大きな効果をもたらす¹²⁾。 Ca イオンが溶解した用水を土壌中に通過させると、 Ca イオンの選択的吸着によって、すでに吸着されている Na イオンと交換し、その結果放出された Na イオンが浸透水と共に下方へ移動することになる。 Ca イオンの添加には、溶解度が比較的高くしかも経済的に入手できる石膏

(CaSO_4) が利用される。一方、土壌間隙水中には海水に起源を持つ Na イオンや Cl イオンが多量に存在している。これらのイオン類は Ca イオンを含んだ用水が土壌間隙を通過するにつれて吸着交換され、次第にふるい分けられて、特徴的な Na イオン組成を持つ間隙水を形づくってゆく。これらは吸着交換クロマトグラフィーの理論によって取り扱うことが出来る。その際、水理学的分散はどちらかというイオン組成を混合拡散させ、次第に平均的な濃度組成を持つ土壌溶液を形づくって行くのに対して、クロマトグラフィー理論ではイオン組成を分離する方向に現象を進行させることになる。

図-4は、K干拓地の土壌を長さ30cm、直径20cmの円筒に詰め上部の10cmの土壌に石膏を混入した後に、上部から水道水を浸透させ、下部から流出する水の電気伝導度を測定した結果である。電気伝導度は浸透水中イオンの濃度に対応して変化するが、その時間的変化の状況から、最初に、もともと間隙に存在した Na^+ と、陰イオン Cl^- 、 SO_4^{2-} を含んだ水が、ついで、交換された Na^+ 、 Ca^{2+} および SO_4^{2-} を含む水が、最後に、供給された灌漑水に平衡した浸透水が排除される3段階におよそ区分される除塩の過程があり、電気伝導度はそれらの段階に対応して不連続的に変化していることが分かる¹³⁾。

このように、吸着イオンの交換や間隙水の除塩にはいくつかの段階があり、これらの各段階を、浸透水による土壌吸着イオンや除塩の状況の管理の目安とすることが

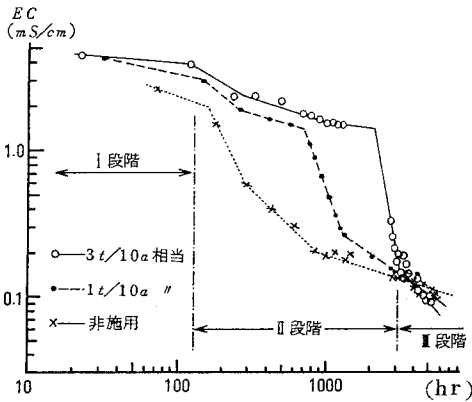


図-4 排水中の EC 変化と除塩の段階

可能となる。これらの段階の区分には、さきに述べた複数種のカチオン共存系における浸透水によるイオン輸送現象の定式化が重要な意味を持つてくるのである。

3. 塩類集積と除塩

1) 湿潤地帯における土壌中の塩分の動態

地表面近傍では、土壌水はきわめてダイナミックな動きをする。降雨時や灌漑時には下方へのフラックスが生じるが、干天時には蒸発によって上方へ向かうフラックスが生じる。1年間に数十回から数百回にわたる激しいフラックスの上下方向の逆転が生じ、それにとまって塩分は洗脱や集積を繰り返す。湿潤地帯の土壌は常にかなり多量の土壌水分を含有しているとともに、降雨や灌漑水による土壌への供給量は蒸発散による消費水量をはるかに上回っており、平均的には上方から下方へ向かうフラックス成分が、卓越することになる。したがって長い年月を経れば、当然塩類の集積よりも洗脱が進むことになる。

しかしながら、実際に循環水が通過する土壌の有効間隙は、塩分の挙動から推定すると、全間隙量の%程度である。残り全間隙の約%を占める土壌水は通常は動かない水で、浸透水によって除塩できない。とくに、干拓地では深層には塩類を多量に含む土壌が存在し、また堤体の下部を通じて塩水が絶えず侵入し、蒸発によって高濃度の塩分が上部の土壌層へ供給される危険性を常に秘めているといえる。このように、干拓地を典型として、沖積低平地では図-5に示すように上層から下層へ向かう塩分の輸送力と、下層から上層へ向かう塩分の輸送力のバランスの下に、一つの平衡分布が形成される。この

平衡塩分分布をマクロな塩分の混合拡散という観点からモデル化する。そして、土壌水による浸透フラックスをコントロールするという視点から、除塩用水量の決定について検討を進める。

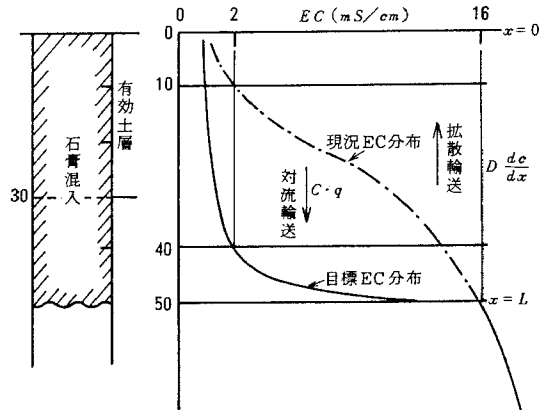


図-5 現況の EC 分布と目標分布

2) 灌漑に伴う塩類集積と除塩についてのこれまでの考え方

有効土層中の水収支と塩分収支から、塩分の集積・洗脱傾向は、図-6を参照して、次式によって判定される。

$$\Delta EC_e = (EC_R \cdot R + EC_i \cdot I - EC_D \cdot q) / (L \cdot \bar{W} \cdot \rho_s / 100) \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 ΔEC_e : 土壌中の年間の EC 値の増加量, EC_R : 降雨の EC 値, EC_i : 灌漑水の EC 値, EC_D : 排水中の EC 値, ρ_s : 単位体積当りの土壌の質量, R : 降雨量, I : 灌漑水量, q : 排水量, \bar{w} : 平均土壌含水比である。

排水量 q は、土層中の水収支式から、図-6の記号を参照して、次のように表される。

$$q = R + I - ET \dots\dots\dots (14)$$

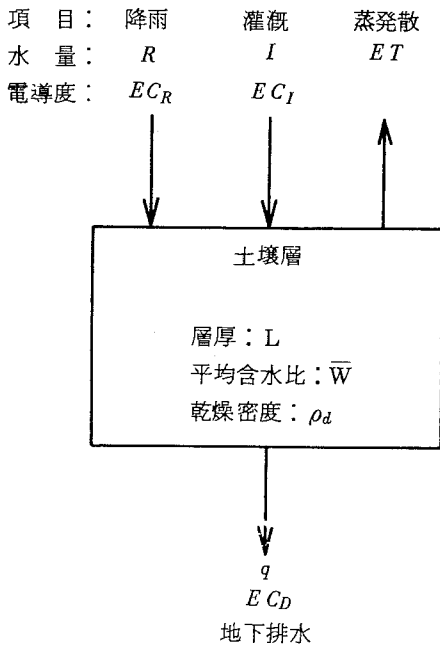
上式の ΔEC_e を用いて、 $\Delta EC_e > 0$ であれば塩類集積傾向、 $\Delta EC_e < 0$ であれば洗脱傾向、 $\Delta EC_e = 0$ であれば塩類は収支が均衡して、一定と判定される。最後の塩分平衡条件を満足するように灌漑水量 q を設定するのが、一般に従来から用いられてきている除塩用水量の算定理論である。この式は、次のような限界を持っている。

- ① 地下水による塩分供給が考慮されていない。
- ② 土壌間隙中の循環水と不動水の区別がない。
- ③ 有効土層中の平均的な塩分濃度は算定できるが、その分布については取り扱えない。

3) 降雨と蒸発に伴う塩分の平衡分布

干拓地では下層には海水と同じ塩分濃度をもつ土壌水

土壤管理用水量について



図一六 土壌水収支、塩類収支記号図

が無限に存在する。上述のような循環性の土壌水の激しい動きによって土壌水の強制的な混合が生じ、見かけ上で濃度の高い下方から上方へ向かう塩分の拡散輸送が生じる。

一方、蒸発散量より降雨量が大きいため、重力により見かけ上、平均的に下方へのフラックスが生じる。これによって運ばれる対流輸送と上述の混合拡散輸送の平衡式は次のように表される。

$$q \cdot C + \bar{D} \cdot (dC/dz) = 0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここで、 \bar{D} ：見かけの拡散係数、 q ：下方への過剰浸透量である。

平衡塩分濃度の垂直分布は、(14)式の解から次のようになる。

$$C = C_s \cdot \exp \{ -(\bar{D}/q) \cdot (L-z) \} \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 C_s は、 $Z=L$ 地点、すなわち、暗渠深さにおける塩分濃度であり、干拓直後の土壌水中の塩分濃度である。

有効土層中の塩分濃度を規定濃度以下に維持するためには、 q を大きく取ることによって、塩分分布を下方へ押し下げればよい。このようにして求められた過剰灌漑水量が、塩分遡上防止用水量の算定基礎となる。

4. 土壤管理用水量について

K干拓地における除塩と土壤改良のために、上述した

理論を適用して、土壤改良並びに除塩用水量、1,150mm、塩分遡上防止用水量3mm/dayが必要と計算された¹⁵⁾。これらの基礎緒元をもとに、気候条件を考慮に入れて土壌水収支計算を行い、従来の畑地灌漑用水計画基準で定められた補給灌漑目的に加えて、除塩や土壤改良を図るための用水量が付け加えられた。

わが国の畑地灌漑用水計画の理論体系は、蒸発散で消費される水量のうち、自然降雨によって供給される水量を差し引いた残りの不足量を補うという基本的な考えの上に組み立てられている¹⁶⁾。しかし、作物の生産にとっては、単に植物が蒸散によって消費する水だけでなく、さらに作物の生産環境を整えるために様々な形の用水を必要とする。とくに生育場の土壌環境を形成する上で水の果たす役割は大きい、水が持つそのような役割をもっと積極的に評価し、用水計画に反映できるような理論体系の一層の整備が必要であろう。

5. おわりに

土壤管理用水量の決定に関する基礎理論として、二つの現象を取り上で、現象の解釈という視点より、むしろ工学的、計画・設計論的視点から整理を試みた。一つは灌漑用水による土壌の吸着イオン制御問題であり、もう一つは、作土層の間隙水中の塩分濃度制御のための用水量問題である。いずれも、灌漑用水量としての決定を念頭において、かなり簡略化した条件下で、浸透水との関わりを中心に整理したもので、ここでの取り扱いには多くの問題を残していることは否定できない。例えば除塩用水について、ここでモデル化したようなマクロな強制混合というモデルが成立するかどうかについては、シンポジウムの終了後に個人的にも多くの意見を賜ったし、また、筆者自身も問題を含んでいると思っている。また、CaイオンNaイオンとの吸着交換現象について、最近わが国においても優れた研究成果が発表されはじめている¹⁷⁾。それらの点について今後十分検討する必要があると思われる。

しかし、ここで意図したのは、分析的手法による個々の現象のより深い理解の方向ではなく、土壤物理と深い関わりを持つ農業土木事業上のトピックスとの関連の下に、どの様な土壌物理現象を取り上げねばならないか、また、各々の個別現象をどの様に結合し、一つの目的論的思考体系の中で調和を図って行けば良いかという視点にたって、取りまとめたものである。とくに物理特性の非線形性の効果と、水文循環の枠の中での平衡条件という点に重点をおいて、整理を行ったつもりであるが、所

期の意図に反し必ずしも十分な整理が出来なかった。ここで述べてきたことをもとに、今後、さらに補足修正し、展開を図って行きたい。

〔引用文献〕

- 1) 例えば, 島田永生: 施設園芸における塩類集積と除塩問題, 農業土木学会土壌物理研究第23回シンポジウム資料, (1984)
- 2) 西出 勤, 千家正照: 施設園芸圃地における水管理と組織容量-畑地帯における水利体系の確立について (ii) -, 農士誌 54 (4), pp. 5-10 (1986)
- 3) 例えば, U. S. Salinity Laboratory Staff: U. S. Dept. Agric., Handbook 60 (1954)
- 4) G. H. Bolt, M. G. M. Bruggenwert 編著: 土壌の化学 (岩田, 三輪, 井上, 陽訳), p. 73, 学会出版センター(1980)
- 5) 取手, 瀬尾, 中野: ベントナイトの Ca^{2+} - Na^+ イオン交換について, 昭和63年度農士学会年次講, pp. 252-253 (1988)
- 6) E. Blesler B. L. McNeal, D. L. Carter: Saline and Sodic Soils (Principles-Dynamics-Modeling), pp. 58-89, Springer-Verlag (1982)
- 7) G. S. Campbell: パソコンで学ぶ土の物理学 (中野政詩, 東山 勇監訳), pp. 106-107, 鹿島出版会(1987)
- 8) 前出6), pp. 95-98
- 9) 前出4), p. 143
- 10) 前出4), p. 65
- 11) 前出4), pp. 147-150
- 12) 天谷, 長堀, 三野: 当面する物質移動の課題, 土壌の物理性, 49, pp. 3-8 (1984)
- 13) 天谷, 長堀, 三野: 笠岡湾干拓地における除塩と Na 土壌の改良工法(2) - 石膏施用に伴う除塩段階の分析, 昭和59年度農士学会年次講, pp. 387-388 (1984)
- 14) 三野, 長堀, 天谷: 笠岡湾干拓地における除塩と Na 土壌の改良工法(3) - 灌漑水による吸着カチオンの制御, 昭和59年度農士学会年次講, pp. 380-381 (1984)
- 15) 長堀金造: 農地整備学, pp. 224-236, 西日本法規出版(1985)
- 16) 農水省構造改善局: 土地改良事業計画設計基準 (畑地かんがい), pp. 2-3 (1982)
- 17) 例えば, 取手伸夫, 中野政詩: 昭和61年度, 昭和62年度農士学会年次講 (1986, 1987)

Summary

Water requirement for soil management or leaching for desalinization has not been analysed in relation to irrigation planning and design criteria in Japan. However, farmers actually use the irrigation water for those purposes and the capacity of the water conveyance or distribution systems tend to become insufficient, especially in the districts where intensive agriculture such as horticulture is practiced. The determination of the water requirement for soil management will become important in Japan in the near future.

In this paper two subjects relating to soil physics are discussed with a view addressing the desalinization problem in humid regions.

(1) The interaction between the transport of soluble substances associated with irrigation and exchange reaction in soil.

(2) Salt accumulation associated with irrigation in relation to leaching for desalinization.