

# 中国・洛恵渠灌区における地下水の分布と水質特性

水利用学分野 長町 博之

キーワード：地下水深、EC、SAR、クラスター分析

## 1. はじめに

洛恵渠灌区は中国・陝西省に位置し洛河を境に洛東、洛西地区に分かれている。灌漑地域は半乾燥地帯に属し、年平均気温は13.3℃、年平均降水量は550 mm である。灌漑水は洛河から取水し、灌区の総面積 51,817 ha、主要幹線用水路の総延長が 235.7 km である。また補助灌漑として地下水を使用している。灌漑方法は畝間灌漑とボーダー灌漑、主要作物は綿花、小麦、トウモロコシで、近年果樹や野菜も増加傾向にある。洛恵渠灌区は運用開始後の不適切な灌漑により塩類集積を引き起こした。1970年代に排水システムが完成し、塩類集積の進行は緩和したが、いまだ予断を許さない状況にある。現在灌区が抱えている問題点として農地の塩類化、低い灌漑効率、維持管理費の高騰が挙げられる。本研究では地下水特性をクラスター分析によって分類し、灌漑水としての適性とその分布を調べる。

## 2. 調査概要

本研究では特に塩害の激しい洛東地区の約 33,000 ha を対象地域とし、この地域に点在する約 100 の井戸のうち約 70 井を観測井として 2002 年 8 月、2003 年 10 月、2004 年 3 月、6 月、8 月、10 月、2005 年 3 月、5 月、8 月、9 月、2006 年 3 月、5 月、8 月、11 月の計 14 回にわたりモニタリング調査と分析を行った。調査・分析は観測井の地理情報、地下水位、電気伝導度 (EC)、pH、主要陽イオン濃度 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) と主要陰イオン濃度 ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) について行った。また、本研究では 2004 年のデータを用いた。

## 3. 分析結果と考察

図 1 は地下水深（地表面から地下水面までの距離）と地下水の EC を表している。この図から地下水深が 10m より浅い井戸では EC が高い値を示す傾向が伺える。地下水深 10 m 以浅の観測井の平均 EC は 4.6 dS/m、10 m 以深の観測井の平均 EC

は 1.7 dS/m である。これは地表下 10 m 以浅の下層土に集積した可溶性塩類の溶出によるものである。FAO の研究によると  $\text{EC} < 3$  が灌漑水として望ましいとしている。よって地下水深 10m 以浅の多くは灌漑水としての適性は良くない。

図 2 は地下水深とナトリウム吸着比 (SAR) の関係を表している。SAR は灌漑水の水質指標のひとつで  $\text{SAR} < 9$  が望ましい。SAR は式 (1) で求められる。

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \{ (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2 \}^{1/2} \quad (1)$$

ここで  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  の単位は meq/L である。地下水深が 10 m 以浅の観測井で SAR 高い値を示す傾向があるが、地下水深 10 m 以深の観測井でも高い SAR が検出されている。これは地下水深が 10m 以深のとき、 $\text{Na}^+$  濃度が他の陽イオ

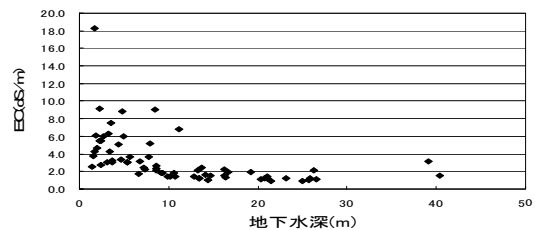


図 1 地下水深と EC の関係

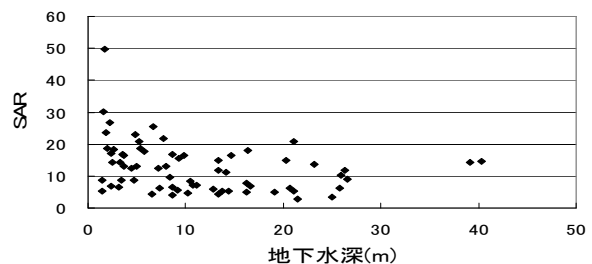


図 2 地下水深と SAR の関係

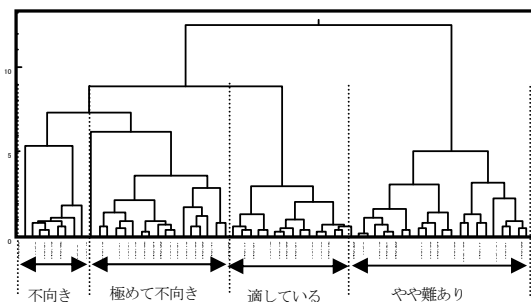


図 3 地下水質の樹形図

ンに比べて比較的高いものに対し  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度が極端に低いことに起因すると考えられる。

次に、地下水を分類するために地下水深、EC、pH、SAR を変数としてクラスター分析を行いグループ化を行った。クラスター分析は互いに似た性質を持つ個体あるいは変数のグループ化を行うための分析方法で計算方法は多数あるが本研究ではウォード法を用いた。具体的には式

$$d_{ij}^2 = \sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$d_{xc}^2 = \left\{ \frac{n_x + n_a}{n_x + n_c} \right\} d_{xa}^2 + \left\{ \frac{n_x + n_b}{n_x + n_c} \right\} d_{xb}^2 - \left\{ \frac{n_x}{n_x + n_c} \right\} d_{ab}^2 \quad (3)$$

ここで  $n_a$ 、 $n_b$ 、 $n_c$ 、 $n_x$  はそれぞれクラスター  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $x$  に含まれるデータの個数である。クラスター分析の結果を図3のように示す。この分析方法によって地下水を表1のように4つのクラスターに分類し、 $\text{EC} < 3$ 、 $\text{SAR} < 9$  のクラスターを「適している」、 $\text{EC} < 3$ 、 $\text{SAR} > 9$  のクラスターを「やや難あり」、 $3 \leq \text{EC} < 5$ 、 $\text{SAR} > 9$

のクラスターを「不向き」、 $\text{EC} \geq 5$ 、 $\text{SAR} > 9$  のクラスターを「極めて不向き」とする。図3から、灌漑水として「適している」井戸は全観測井の1/4程度である。また表1から、地下水深が浅いクラスターほどECが高いことがわかる。これは図1からも明らかのように、10m以浅の下層土に集積した可溶性塩類の溶出によるものである。次に、この4つのクラスターに分類された井戸を地図上に表記したものが図4である。この図から灌漑水に「適している」井戸は灌区全体に広がっており、集中している場所は見られなかった。しかし灌漑水として「不向き」、「極めて不向き」な井戸は灌区の中央部に多いことが分かる。これは灌区中央部の地下水深が比較的浅いためと考えられる。また、「やや難あり」としたクラスターは灌区の南部に多く存在している。このクラスターは表1で明らかのようにECが低くSARは高いため、この地域の地下水を利用する場合、土壌のソーダ質化に注意する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では中国洛惠渠灌区における地下水特性とその分布を明らかにした。地下水深10m以浅の井戸ではEC、イオン濃度、SARが高い傾向にあり、これらは下層土の可溶性塩類の溶出が原因であると考えられ、地下水位の適正な制御が必要である。そのためには節水灌漑の徹底による降下浸透損失の抑制、用排水路の整備、場合によっては暗渠施設の埋設やポンプによる機械排水が必要であると考えられる。また、地下水深が10m以深の井戸であってもSARが高い場合があるので使用には注意を要する。クラスター分析によって地下水は4つのクラスターに分類でき、灌漑水として良好な井戸は全観測井の約1/4程度で、問題のある井戸の方が多かった。また分類した結果から、灌漑水として「適している」井戸は灌区全体に散在していたが、「やや難あり」とした井戸は比較的灌区の南部に、「不向き」、「極めて不向き」とした井戸は灌区の中央に集中していた。今後の課題としては、南部、中央部を重点的に調査し、地下水質の水質悪化のメカニズムを明らかにしたい。

#### 参考文献

FAO(1989) : Water quality for agriculture, FAO Publication No.29

小谷和也(2004) : 中国洛惠渠における地下水挙動と塩類集積について、鳥取大学卒業論文

福本群(2005) : 中国洛惠渠灌区における地下水特性の把握、鳥取大学卒業論文

表1 各地下水質クラスター要素の詳細

	適している	やや難あり	不向き	極めて不向き
地下水深(m)	7.3	19.9	5.1	4.0
EC(dS/m)	2.3	1.4	3.0	6.9
pH	7.8	8.1	8.2	7.8
SAR	6.0	10.5	22.0	17.5

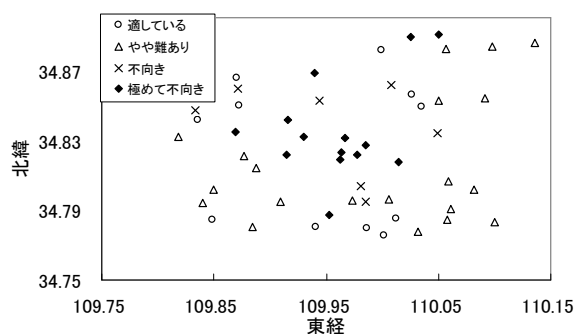


図4 地下水質クラスターの空間分布