

低水分領域における土の水分保持曲線について

Water retention curves for relatively dry soils

○長田 友里恵・渡辺晋生・取出伸夫

Yurie OSADA, Kunio WATANABE, Nobuo TORIDE

はじめに 土壌圏の物質循環を考えるには、様々な土の水分保持曲線（以下 SWC）と不飽和透水係数を正確に測定する必要がある。これまで、低水分領域の SWC の測定には測定時間や精度、再現性に問題があった。近年、鏡面冷却露点式の水ポテンシャル測定と、動的な湿度制御下での水分量測定が可能な水分吸脱着測定装置（Vapor Sorption Analyzer；以下 VSA）が開発された。そこで本研究では、VSA と従来法を用いて様々な土の SWC を測定し、低水分領域の土の保水メカニズムとヒステリシスを考察した。

試料と方法 試料には性質の異なる 11 種の土（黒ボク土 4 種、非黒ボクローム土 3 種、砂、カオリナイト、モンモリロナイト、ベントナイト）と多孔質ガラス粉体を用いた。ベントナイト（クニゲル V1）は、Li, Na, K, Rb, Cs, Ca の塩化物溶液で飽和後、水洗し、層間イオンを調整した。これらの試料の SWC を吸引法、加圧板法、鏡面冷却露点式水ポテンシャル計（WP4）、VSA で測定した。VSA は $-7.2 \times 10^4 \sim -4.9 \times 10^6$ cm の水ポテンシャル水頭 h を高精度で測定でき、試料の乾燥密度によらず同一の SWC を得られる。図 1 に VSA の試料室の概要を示す。内径 3.7 cm のセルに試料を約 2 g 広げ、試料室の精密天秤上に静置した。試料室に乾燥・湿潤空気を送風し、相対湿度を連続的に変化させた（DDI 方式）。そして、試料室内の鏡の露点と試料温度から平衡する試料の h を求め、同時に試料重量を測定し、重量変化から含水比 w を求めた。SWC の測定は脱水過程と吸水過程で行った。試料の初期水分状態は風乾、生土（湿潤）、および不飽和塩溶液を用いて任意の h と平衡した状態とした。全ての実験は 25°C の恒温室で行った。

結果と考察 図 2 に熊本黒ボク土について、VSA で測定した SWC を実線で、加圧板、WP4 で測定した SWC をプロットで示す。VSA で $h = -3 \times 10^6$ cm から吸水した SWC は常に同一の曲線となった。これは吸水の主曲線とみなせる。脱水過程については、試料の初期水分状態に応じて様々な走査曲線が得られた。湿潤試料（図中黒実線）の脱水後吸水過程の SWC を VSA で測定すると、両過程の SWC は大きく異なった。初期 h を調整した試料を VSA で脱水すると、それぞれ図中矢印から SWC が測定され、その後湿潤試料の SWC に重なった。また、湿潤試料の脱水過程の SWC は飽和土を用いて吸引法や加圧板法で測定した脱水過程の SWC（図中△と□）とも一致した。VSA は従来法との組合せにより、脱水の主曲線の測定にも有用といえる。

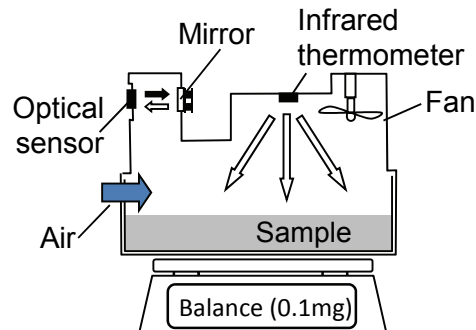


図1 VSAの試料室の概要
Fig.1. Schematic of VSA sample chamber.

ここで、異なる層間イオンに調整したベントナイトの吸水主曲線を VSA で測定した (図 3)。Cs 型や Rb 型のベントナイトの SWC は直線的だった。これは、これらの粘土粒子の層間が強く結合しており、低水分領域では水分が粘土の外表面のみに吸着したためと考えられる。Li 型のベントナイトの SWC も直線的であったが、Cs 型や Rb 型より含水比が全体に高かった。これは Li イオンの水和の影響とみなせる。一方、K 型、Na 型、Ca 型のベントナイトの SWC は $h = -1.5 \times 10^6$ cm で急激に変化した。これは層間への水の侵入によると考えられる。この際に形成される層間の水膜の厚さは 2 分子程度と見積もられた。また、高水分領域では Ca 型より Na 型の方が多く膨潤することが知られているが、低水分領域の水分量は Na 型より Ca 型の方が高くなった。これは Ca と Na イオンの水和性の違いによる。

次に、様々な土性の試料に対し、VSA で測定した SWC の吸水の主曲線と $h < -7 \times 10^4$ cm からの脱水の走査曲線を図 4 に示す。いずれの試料についても、 h の低下にしたがい保持できる水分量が低下した。また、SWC の形は撥水性や細孔含量によって異なった。砂やカオリナイトでは、 $h < -7 \times 10^4$ cm の乾燥過程と湿潤過程の SWC に差が見られなかった。しかし、黒ボク土やモンモリロナイトでは両過程の SWC が異なった。低水分領域の SWC のヒステリシスは、土粒子表面における水の接触角や付着のヒステリシスと表面粗度や疎水性の影響によると考えられる。それゆえ、微細な構造をもつ土や比表面積の高い土で大きなヒステリシスが見られたのであろう。黒ボク土は採土地によって SWC の形や保水量が異なった。これは、含まれるアロフェンや有機物の組成や量の違いによると思われる。

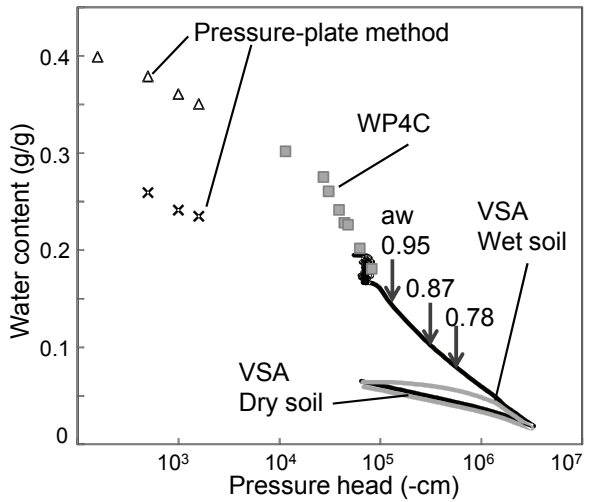


図2 熊本黒ボク土の水分保持曲線
Fig.2. SWC for Kumamoto Andisol.

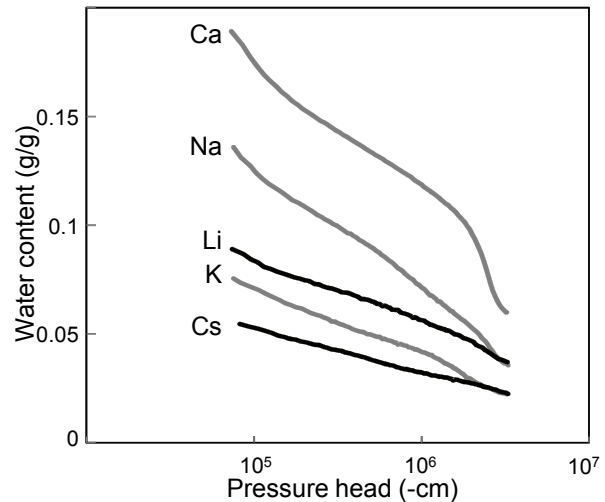


図3 層間イオンの異なるベントナイトの吸水過程の水分保持曲線
Fig.3. SWC for Bentonite saturated with different cations.

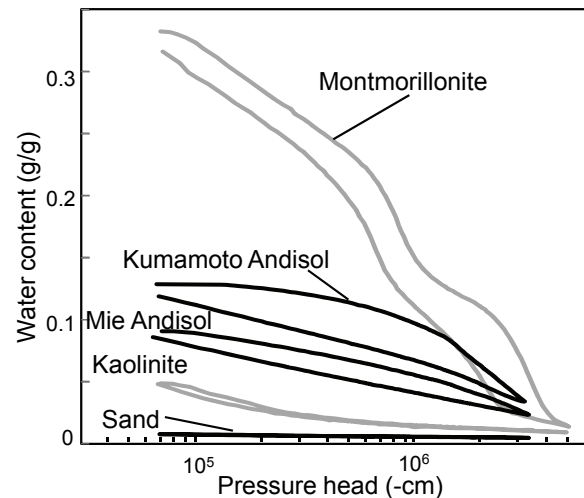


図4 様々な土の水分保持曲線
Fig.4. Hysteresis for various soils.