

湧水湿地と不飽和流動

Spring Water Marsh and Unsaturated Water Flow

梅 田 美 彦 (うめだ よしひこ)

ウメダジオリサーチ 代表

1. はじめに

伊勢湾を取り囲む丘陵地域に周伊勢湾要素¹⁾あるいは東海丘陵要素植物²⁾と呼ばれる特異な植物群が生育している。シデコブシ、トウカイコモウセンゴケ、ミカワシオガマなどいずれも湿地を生育基盤する植物群で、他の植物との生存競争に弱く劣悪な湿地環境に逃避することでかろうじて種を維持する遺存種とされている。その生育地である湿地は湧水湿地³⁾と呼ばれるもので、恒常的な地下水の湧出により湿地が維持されている。これらの湿地は比較的都市に近い台地や丘陵地に存在することから、開発により数が減少し丘陵要素植物も絶滅の危機にある。湿地の形成される地盤を見ると、この地域に広く分布する砂礫層上に形成されているものが最も多く、次に花崗岩質上のものが続き、その他の地質上に形成されるものは少ない。この地域の砂礫層は、層厚30~50 mと厚くほぼ全層が不飽和状態にある。また、花崗岩も表面は深層風化によりまさ層に覆われ不飽和帯が厚く堆積している。このような場所に湿地が偏在することから、厚い不飽和帯が地表付近に存在することが、湿地の形成維持に大きな役割を果たしているものと考えられる。以下、ここでは不飽和帯の存在と湿地形成という点から不飽和土研究の一端を紹介していきたい。

2. 湧水湿地の実態

湧水湿地の現状を調査するため、東濃地域の砂礫層上に形成された湿地について地形、土壌、地質、及び地下水の湧出状況を調査した⁴⁾。その結果から得られた湿地の概要を図-1に示す。湿地の実態は以下のように要約される。その1、湿地は中地形区分で見ると丘陵の中腹部から丘麓部に立地するが、まれに丘頂付近に立地するものもある。また、微地形区分上では表-1に示すような位置に立地しており、その分布は規則的であり位置によって湿地分類が可能であった。これらは急崖の前方に形成される平坦面上の湿地と谷底部に位置する湿地の2

表-1 湧水湿地の微地形による分類

地形分類		湿地分類			
小地形	亜小地形	微地形	湿地名称	堆積型	斜面勾配 (%)
谷壁	上部谷壁	上部谷壁凹斜面	上部凹斜面湿地	堆積	5~10
		小段丘面	段丘面湿地	浸食	4~10
		上部谷壁斜面	上部斜面湿地	浸食	5~20
	下部谷壁	下部谷壁凹斜面	下部凹斜面湿地	堆積	5~10
下部谷壁斜面		下部斜面湿地	浸食	10~45	
谷底	谷底面	谷底湿地	堆積	3~8	
	水路	水路底湿地	堆積	4~10	

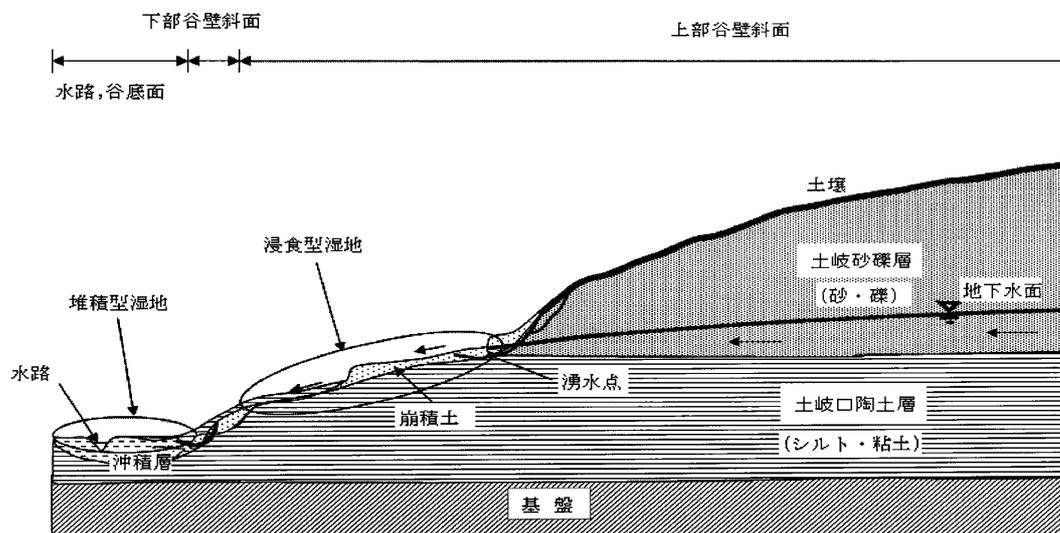


図-1 湧水湿地の概要

つに大きく分類することができる。このうち谷底部湿地は常に平坦面湿地の下流側に位置している。平坦面湿地は背後の急崖下端部から湧出する地下水により、谷底部湿地は平坦面湿地から流下する水、及び上流からの表面流によって水分供給を受けている。その2、湿地周辺の地質は上部から、土壌、砂礫層、シルト粘土層、基盤層から成る。土壌の発達が悪く、斜面上部では1m未満、下部で1m程度の厚さを有する。砂礫層は当地域の丘陵部を広く覆う土岐砂礫層で、チャート、花崗岩、砂岩、頁岩などの礫を含み、花崗岩礫は著しく風化を受けくされ礫化している。砂礫層は全層が灰褐色を呈することが多く、不飽和状態にある。シルト粘土層は土岐口陶土層と呼ばれるもので5m以上の厚さを有し、塊状で固結状態にあり止水層として十分機能しているものと考えられる。基盤層は第三紀以前の瑞浪層群や美濃帯堆積岩からなる。このような地質構成の中で、土岐砂礫層と土岐口陶土層の境界に平坦面湿地が立地する。その3、平坦面湿地の背後の急崖上には崩壊崖と考えられる崖が多数観測される。また、湿地背後の崖面に大きな亀裂が入り、その前面の湿地に崩積土が堆積しこれを崖面から湧出する水が浸食している状況が観察されるような湿地も見られる。このような状況から、湿地は砂礫層がシルト粘土層の上部で崩壊し、崩壊した土砂がシルト粘土層上を流れる水によって浸食されることによって形成されたものと推察される。その4、湿地の背後上流側には表面流は観察されない。したがって、湿地を形成、維持している地下水の供給源は丘陵に供給される降雨のみであり、地表に降った雨水が土壌、砂礫層を降下浸透した後、シルト粘土層で降下を阻止され、湿地上に湧出しているものと考えられる。この水の存在が、先の砂礫層の崩壊、浸食と湿地の保湿に大きくかかわっているものと思われる。その5、湿地が土岐口陶土層と土岐砂礫層の境界部に形成されることから、湿地は土岐砂礫層堆積後地盤が隆起し、浸食されて土岐口陶土層が再び地表に現れた時点で形成が可能になると考えることができる。以上より、この地域の段丘の形成時期から湿地の形成された時代を推定すると12万年から15万年前、すなわち前の間氷期であると考えられる。

3. 湧水湿地の形成維持条件

以上のような湿地の実態調査結果から、現在湿地が形成維持されているのは、以下のような条件を満たしているためと推察された。その1、厚い砂礫層の下部に止水層が存在し、止水層上を水が流れるような地盤構造と成っている。その2、砂礫層がシルト粘土層上で崩壊しやすく、崩土が地下水の湧出によって浸食され平坦面が形成されやすい。その3、形成された平坦面上を、湧出した地下水が流れることによって湿地が保湿される。

一方、植物学の立場から現在のような植生が維持されるためには以下のような条件が必要とされている⁵⁾。その1、湿地に水が安定して供給されること。すなわち、供給される水量が年間を通じて変化しないこと。その2、

供給される水が貧栄養であること。

この地域の湧水湿地の周辺状況が、このような条件を満たしているか否かを確認するための土質工学的な課題は多い。以下では湿地への水の安定供給という課題について行った数値解析の結果を紹介する。

4. 湿地への湧水解析と不飽和砂礫層における水の流動

4.1 解析モデル

解析は湿地の調査結果をモデル化し図-2のような多層地盤についてHELPモデル⁶⁾により実施した。HELPは廃棄物処分場の覆工部の斜面流出解析を目的として開発されたもので、地盤の浸透特性と気象条件を入力することにより長期間に渡る多層地盤の流出を計算することができる。図に見られるように、モデル地盤は不飽和降下浸透層、飽和不飽和浸透層、及び飽和浸透層で組み合わせた基本単位2組を積み重ねたものである。上部単位は土壌層をモデル化し、下部単位は砂礫層とシルト粘土層をモデル化したものである。このモデルを用いることにより、気象条件の入力から地表面における表面流の発生、植物による蒸散、土壌層における中間流の発生、砂礫層からの湧出量、各層への貯留量など地盤内における水分動態を計算した。

4.2 解析条件

解析に必要な入力値は、層厚、排水長などのモデルの形状、気象条件及び地盤各層の浸透特性である。モデル形状はパラメータとして変化させた。気象条件は降雨、日射量、気温の日変化が入手可能な名古屋気象台のデータについて10年間分を平均化して用いた。また、地盤の浸透特性は現地より採取した土についてマルチステップ法⁷⁾によって試験した結果を用いた。図-3に解析に使用した土の不飽和浸透特性を示した。

4.3 地盤内での雨水の流れ

解析は地盤の層厚、横方向排水距離、層の傾斜を変化させて実施しているが、ここでは代表的な例として砂礫層の層厚10m、排水距離50m、地層傾斜6%における地盤内部での雨水の動きについて述べる。図-4に地盤各部における水分の動態を日当たりの経時変化として示した。図-4(a)は年間の降雨量変化でありこれを入力

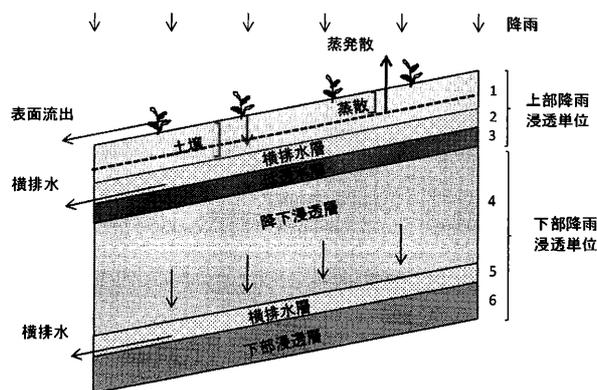


図-2 解析モデル

報 告

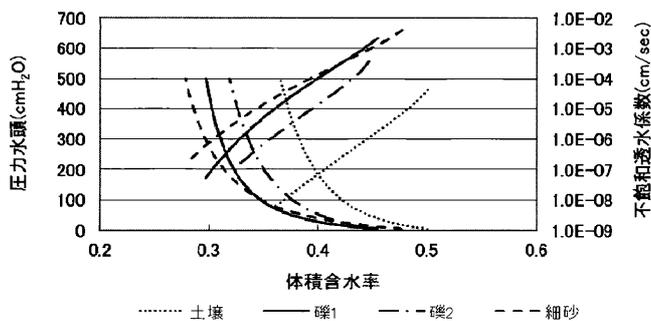


図-3 地盤の不飽和特性

データとして用いた。最初に供給される雨水がそれぞれの系からどのように排出されているかをみていく。図-4 (b)に地表からの蒸発、及び植物の蒸散を含む蒸発散量の年変化を示した。蒸発散量はほぼ温度の年間変動に連動するような形で変動している。また、夏季に蒸発散量が著しく減少する特異な日が見られるが、このような日の土壤水分を見ると水分減少が著しく、植物根による水分吸収が困難になっていることが分かる。なお、土壤からの蒸発散量は供給される雨水の60~70%になり、ここで考えている系の中で外部に放出される量としては最大の値となっている。図-4 (c)は表面流の変動を示したものである。その量は最大でも0.02 mm/dと少量でありほとんど無視できる程度である。砂礫層地域での表面流の実態を示しているものと考えることができる。図-4 (d)は土壤から砂礫層内へ降下する水分量を示したものである。地表流出がほとんど無いことから、この

量は地表部に供給された雨水から蒸発散によって放出された水分及び土壤中に貯留される水分を差し引いた量と考えることができる。梅雨時及び台風時に砂礫層への供給量が多くなるのは降雨量の年変動にほぼ対応しているが、その量は減少しており台風時のピークで見ても40%弱の値となっている。砂礫層からの排出量を図-4 (e)に示す。この図を見ると、排水量は年間を通じて観察されるが、梅雨時及び台風時の雨水供給量が多い時期に排出量が少なく、冬季から春季の雨水供給の少ない時期に多くなっているのが分かる。すなわち、土壤を通過してきた雨水が厚い砂礫層を通過する間に大きくハイドログラフの形を変えているのが特徴的である。砂礫層からの排出量は年平均で約1 mm/d、図-4 (f)に示す下部粘土層からの排出量は年間を通じ0.1 mm/dであることから、土壤を通過した雨水は厚い砂礫層によって流出特性を変えながら約90%が止水層上部から排出されていることになる。この水が湿地へ湧出しているものと考えることができる。

次に不飽和帯への水分貯留についてみる。本モデルでは第3層目の土壤下部層及び第6層目のシルト粘土層は毛管飽和帯 (いわゆるキャピラリーバリアー) と仮定されているため常時飽和状態にあり水分量の変動はない。図-4 (g), (h)に土壤層の水分貯留量と日毎の水分の出入り量を示す。貯留量には年間変動がみられ、年間を通じて貯留量が増減していることが分かる。一方図-4 (i), (j)には砂礫層における貯留量と水分の出入り量を示した。土壤層の貯留量が年平均では100 mm程度

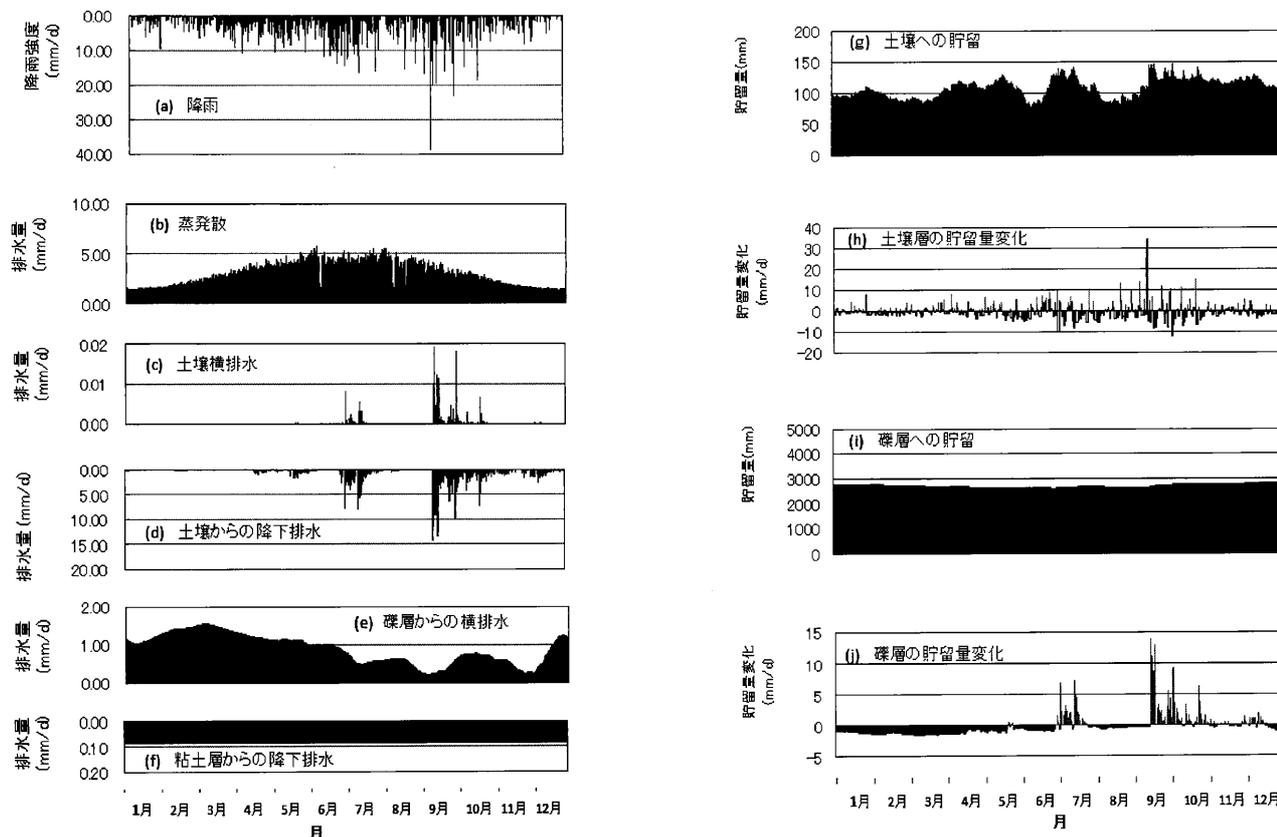
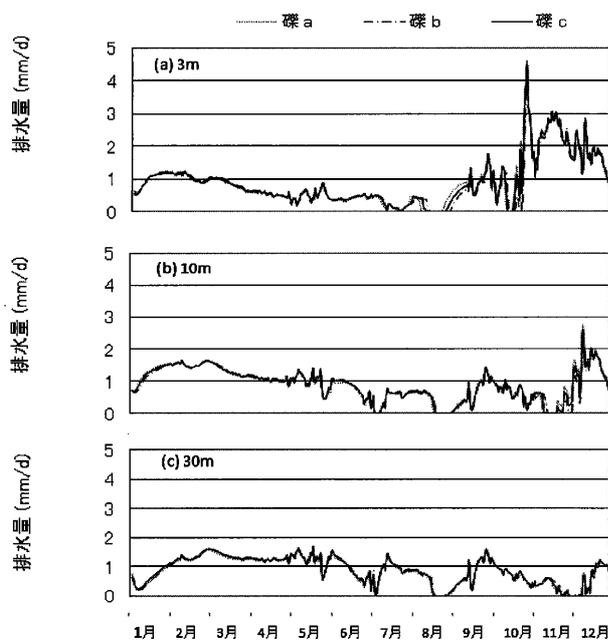


図-4 解析結果による地盤内部の水の動き



図—5 砂礫層の厚さによる排水量の変化

なのに対して、砂礫層では2800 mm程度と大きな値になっていること、及び日当たりの水の増減が季節によって決まっており、増加するのは梅雨時及び台風シーズンに限られ、他のシーズンには貯留した雨水を排水し減少するだけであるという違いがみられる。

4.4 不飽和層の層厚と排水量

図—5に砂礫層の層厚を3, 10, 30 mと変化させた時の砂礫層からの排水量経時変化を示す。ここでは層厚のみを対象としているため横方向の水の移動は考えていない。図にみられるように排水量は、層厚が増すにつれて平坦化されているのが分かる。すなわち3 mでは降雨ピークに応じた鋭いピークがみられるのに対して30 mではピークは見られなくなっている。また、3 mでは降雨の集中する時期に集中して排水されるのに対して、30 mでは排水が平坦化され年間を通じて同じような排水量が観察されるようになることが分かる。このような現象は、水文学でいう森林土壌の洪水緩和機能、あるいはピーク低減効果に当たるものである。森林土壌はせいぜい1~2 m程度の厚さと考えられるが、砂礫層の厚さが1オーダー以上厚くなることによってさらに効果が増していると考えられる。以上のような不飽和砂礫層の効果は湧水湿地の形成維持条件で述べた、湿地への水の安定供給の条件を満たす方向に作用し、砂礫層

地帯に湧水湿地が形成される要因となっていると考えることができる。

4.5 砂礫層の不飽和流れと貯留

以上のような解析から、不飽和な砂礫層に水が貯留され、年間を通じて湿地へ恒常的に水分を供給している様子が明らかとなった。ここでいう不飽和帯への貯留は、一般的にいう貯留の概念とは多少異なるかもしれない。すなわち、一般でいう貯留は、不透水の容器内に水が溜まることをいい、容器内は飽和状態にある。これに対して不飽和帯の貯留では、その1、たまる水は当然間隙内で飽和していない。その2、不透水と考える容器は存在せず、全体が難透水状態にありゆっくり移動することで層全体を見ると貯留しているような状態を作り出している。このように、不飽和帯への貯留はその量が極めてわずかではあるが、層厚が厚ければ今まで見てきたように我々の目にも十分確認できるような効果を生むことが認識できる。

5. おわりに

湧水湿地と不飽和層の関連について筆者の研究の一端を述べた。不飽和層が、現実問題に対してどのような役割を果たしているのかといったことについては、まだ十分認知されていないように思われる。今後のこの分野のさらなる発展を期待したい。

参 考 文 献

- 1) 井波一雄：岐阜県の植物地理概説 岐阜県高等学校教育研究会編「岐阜県の植物」、大衆書房、pp. 25~71, 1966.
- 2) 植田邦彦：東海丘陵要素の植物地理1 定義、植物分類・地理、Vol. 40, pp. 190~202, 1989.
- 3) 角野康郎・遊磨正秀：「ウエットランドの自然」、保育社、p. 198, 1995.
- 4) 梅田美彦：土岐砂礫層堆積地域に立地する湧水湿地の成因と形成時期、地形、Vol. 34, pp. 113~128, 2013.
- 5) 波田善夫：水と森と湿地、海上の森公開講座講演集、pp. 27~38, 2000.
- 6) Schroeder, P. R., Dozier, T. S., Zappi, P. A., McEnroe, B. M., Sjostrom, J. W. and Peyton, R. L.: The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model, Risk Reduction Engineering Laboratory, 116p. 1994.
- 7) 森 也 志 志・木原康孝・井上光弘・福島 晟：マルチステップ流出法による不攪乱土壌の不飽和透水係数の推定、農業土木学会論文集、Vol. 213, pp. 61~68, 2001.

(原稿受理 2014.2.12)