

# 浸透過程における土壌水分移動に関する研究

## Studies on the Soil Water Flow during the Infiltration Process

佐倉 保夫<sup>1</sup>・谷口 真人<sup>2</sup>

Yasuo SAKURA and Makoto TANIGUCHI

筑波大学水理実験センターでは、1978年以来、地表面付近の熱収支・水収支を明らかにすることを目的とした連続観測を行っている。ここでは、水収支に関する観測や実験の中で特に水理実験センターを利用して行われた降雨・浸透過程の土壌水分移動に関する研究の動向について述べる。

当時、筑波大学地球科学系の水文学研究グループの勢力の多くは、不飽和帯中の水の移動に注がれ、数々の輝かしい成果が生まれていた。そのころ発足した水理実験センターはその影響を受け、新しい豊富な研究用観測機器や実験設備を利用した研究が行えることから、水文学専攻の学生や院生の研究の場として、また教官・職員との共同研究の場として機能し始めた。

浸透過程の土壌水の移動に関して、佐倉 (1979) は、降雨に対する地下水面の上昇とそれに伴う地中温度の急激な変化を報告した。数十 mm 以上の降雨が生じたとき、10数 mm から20数 mm の降雨が表層土壌の土湿不足を補うと、次に続く降雨が0ないし2時間後の地下水面の上昇を促し、僅かに遅れて地下50cmと100cmの温度が急激に変化することを示した。当時、降雨に対する素早い地下水面の上昇に関して、雨水が土壌中の大間隙を降下するとか、気圧変化あるいは土壌中の古い水を新しく降った雨水がピストン流的に押し出すのではないかとというような様々な理由が考えられていた。地温の垂直分布の連続観測が始まり、それを詳しく検討した結果、その原因と

して、ロージェ (1962) が思考実験から指摘しているように、地下水面から続く毛管水帯の上端に降雨浸透水が到達すると地下水面は急激な上昇を開始する、すなわち毛管水帯中のピストン流的な流れが重要な役割をはたしているのではないかと考えた。そこで、この仮説を実証するため佐倉・開発 (1980a, 1980b) は、コンクリート・ブロック製の2×2×1.8 (深度) m の2個のライシメータを作成し、砂と関東ロームを詰め地下水面を地表面下150cmに設定し、降雨に対する流出の応答、テンシオメータによる圧力水頭、中性子水分計による水分量さらには地中温度などの計測を行った。その結果、無降雨期間が長く地表が極度に乾燥している時期を除いて、降雨一流出の応答では関東ロームが砂よりも早いことが、また降雨終了後の流出の逡減についても関東ロームがすなよりも早く、砂の方が流量を長期に渡って維持させることなどが明らかになり、毛管水帯の重要性が明らかになってきた (佐倉・開発, 1981 : Sakura, 1983 : Sakura et al., 1987)。

さらに、土壌の保水形態と水の移動機構の関係を明らかにするため、実験室でのカラム実験が計画された。佐倉・谷口 (1983) では、15×15×150cmの透明塩化ビニール製のカラムを作成し、降雨浸透過程の土壌水フラックス、圧力水頭および排水量を自記し、土壌水の保水形態と運動形態について検討した。その結果次のことが明らかになった。1. カラム中の土壌は、地下水面から上に向かうに従って、

<sup>1</sup> : 千葉大学理学部地学教室

<sup>2</sup> : 奈良教育大学教育学部天文・地球物理学教室

水分量の減少する毛管水帯と、その上部の地下水面からの高さによらず水分量が一定の懸垂水帯に区分できる。毛管水帯は、さらに地下水面直上で水分量が一定な飽和毛管水帯と、その上部で水分量が減少する不飽和毛管水帯に細分できる。2. 懸垂水帯では、水は土粒子の接合部の周りにリング状に付着している。ここに雨水が浸透してくると、土粒子の表面を濡らすとともにリング状の水が肥大し、次にはその外側を自由表面を持った状態で重力に従って降下ようになる。これを水分量プロファイルで見ると浸潤前線が形成されたことになる。一方、毛管水帯では、水分量プロファイルは毛管力により水が保持されようとする力と重力により降下しようとする力の平衡で決定される。3. 浸潤前線が懸垂水帯を通過して不飽和毛管水帯の上端に到達すると、毛管水帯の圧力平衡は崩壊する。この圧力変化は直ちに地下水面まで伝達され、毛管水帯の水の移動が始まり、地下水面を通過する流れが生ずるのである。従って、比較的地下水面が浅いところでは、毛管水帯が果たす役割は大きく、しかしかも細粒土のほうが粗粒土に比べて毛管上昇高が大きいので、降雨一地下水面上昇の応答は早くなるのである。

また、谷口・佐倉(1983)では、降雨停止後の排水過程についても同様な検討を行い、次のことを明らかにした。排水前線が飽和毛管水帯の上端に到達した時、土壌水フラックスの減少が地下水面まで一斉に及び、流出量の逓減が同時に始まる。そのため、毛管上昇高の大きな細粒土の方が、流出量逓減の開始が早い。これらの浸透過程の様々な水の移動に関する問題点や研究の背景については、既にKayane and Kaihotsu(1988)や佐倉(1989)で詳しく述べられているので、それらを参照して頂きたい。

以上に示した観測や実験を行う過程で、新しい機器の検定や機器の開発が同時に行われた。開発・佐倉(1979)では中性子水分計の使用に関する問題を、佐倉・後藤田(1979)では水分・密度自動計測システムについて、谷口他(1982)では差温式微流速計による水分フラックスの測定について、佐倉他(1982)・開発他(1987)では静電容量式水マノメーターの自記方法についてなどである。また、不飽和

土の水分特性についても、岡橋(1979)、開発・佐倉(1981)、開発他(1981)によって実験室や野外のデータが示されている。

本小論は、著者らが係わった1977年から1983年までの、主として水理実験センターで行われた浸透過程の水の移動に関する研究の歩みについてのみとりまとめたものである。これらの研究を実施するに当たり、常に暖かく見守って頂いた当時のセンター長の井口正男教授、吉野正敏教授、様々な助言を頂いた地球科学系の榎根 勇教授(現センター長)、古藤田一雄教授、高山茂美教授、田中 正講師に感謝いたします。さらに各種の実験装置の制作にあたり御指導頂いた元技官の小島豊盛氏ならびに泉耕二氏(現リコー中央研究所勤務)そして佐藤 朗氏(現興和地下建設)、また共同研究者としていつも議論して頂いた広島大学・総合科学部の開発一郎講師に感謝の意を表します。最後に、当時のセンターの全教職員の皆様の暖かい励ましには、これらの研究は成就されなかったことを記し感謝の意を表します。

## 文 献

- 岡橋生幸(1979):Richards型測定装置による不飽和流の透水実験について.筑波大学水理実験センター報告,3,75-80.
- 開発一郎・佐倉保夫(1979):散乱型中性子水分計の使用に関する問題.筑波大学水理実験センター報告,3,39-46.
- 開発一郎・佐倉保夫(1981):野外土槽中の不飽和土の水分特性.筑波大学水理実験センター報告,5,19-23.
- 開発一郎・田中 正・岡橋生幸(1981):関東ロームの水分特性.地理評,54,266-271.
- 開発一郎・佐倉保夫・谷口真人・渡辺恒博・四倉信弘(1987):浸透実験のための自記テンシオメータの開発.第31回水理講演会論文集,767-770.
- 佐倉保夫(1979):浸透過程の地中温度変化から推察される土壌水分移動について.筑波大学水理実験センター報告,3,33-38.
- 佐倉保夫・古藤田一雄(1979):水分・密度自動計測システムについて.筑波大学水理実験センター報告,3,

89—93.

佐倉保夫・開発一郎 (1980a) : 野外土槽における雨水の鉛直移動. 筑波大学水理実験センター報告, 4, 25—29.

佐倉保夫・開発一郎 (1980b) : 野外土槽における観測システムについて. 筑波大学水理実験センター報告, 4, 89—92.

佐倉保夫・開発一郎 (1981) : 野外実験土槽における観測結果 (1980年4—7月) —降雨浸透時の砂槽地中熱環境変化—. 筑波大学水理実験センター報告, 5, 11—18.

佐倉保夫・谷口真人・古藤田一雄 (1982) : ホマノメータを用いた静電容量式テンシオメータについて. 筑波大学水理実験センター報告, 6, 93—96.

佐倉保夫・谷口真人 (1983) : 土壌水の移動特性に関するカラムを用いた降雨浸透実験. 地理評, 56, 81—93.

佐倉保夫 (1989) : 浸透. 気象研究ノート, 167, 275—285.

谷口真人・佐倉保夫・古藤田一雄 (1982) : 差温式微流速計による水分フラックスの測定. 筑波大学水理実験センター報告, 6, 87—92.

谷口真人・佐倉保夫 (1983) : 排水過程における土壌水の移動特性に関する実験. 地下水学会誌, 25, 139—148.

ロージェ, A. A. (1963) : 「土壌と水」. (山崎不二夫監訳), 東京大学出版会, 138p.

Kayane, I. and Kaihotsu, I. (1988) : Some experimental results concerning rapid water table response to surface phenomena. *J. Hydrol.*, 102, 215—234.

Sakura, Y. (1983) : Role of capillary water zone in groundwater recharge. —Observation of rain infiltration by lysimeter—. *Jap. J. Limnol.*, 44, 311—320.

Sakura, Y., Taniguchi, M. and Kaihotsu, I. (1987) : Role of capillary zone in the infiltration process. *Proc. I. C. I. D. A. Honolulu, Hawaii*, 104—113.