

灌漑の影響を受ける畑地での土壌水分の挙動

唐 常源*・田瀬則雄**・新藤静夫***

田中 勝****・倉田 文*****

Behavior of Soil Water in Irrigation-Affected Crop Field

Changyuan TANG*, Norio TASE**, Shizuo SHINDO***,

Masaru TANAKA**** and Fumi KURATA*****

By measuring pressure heads through an auto-recording tensiometer, behavior of soil water was observed in a crop field, which was affected by irrigation for surrounded paddy fields, in the Dejima area of Ibaraki Prefecture. Major observations are as follows:

- (1) Behavior of soil water in a crop field near paddy fields is very affected by fluctuation of water table, rainfall, and evaporation.
- (2) During the irrigation period, flux of soil water is generally downward in surface zone and upward in and above capillary zone and convergent zero flux plane is formed in and after rainfall. On the other hand, downward flux is generally dominant during the non-irrigation period.
- (3) The auto-recording tensiometer is a very effective tool to trace the soil water in the unsaturated zone.

1. はじめに

-
- * 筑波大学地球科学研究科 Graduate student
of Geoscience, University of Tsukuba
- ** 筑波大学地球科学系 Institute of Geoscience,
University of Tsukuba
- *** 千葉大学理学部 Faculty of Science, Chiba
University
- **** 国立公衆衛生院 The Institute of Public
Health
- ***** カナダ、ウォータールー大学大学院
Graduate student, University of Waterloo,
Canada

畑地における自然状態の土壌水分測定法については、古くから極めて多くの方法が研究され、実用化されてきた。しかし、現場において連続的に、しかも広範囲な土壌水分が測定できる方法は数少ない。このなかでテンシオメータ法は他の方法に比べて速く測定できる上、原理、構造および取り扱いが簡単などの利点を持っているため一般に広く用いられている。

テンシオメータは1922年に Gardner ほかによって初めて紹介され、Richards (1949) などの多くの研究者によって改良され、土壌水分保持あるいは水分移動の研究を実験室や圃場で行うのに不可欠のものとなっている。このテンシオメータは土壌水が受けている負圧を多孔質磁器（ポーラスカップ）をセンサーとして測定する装置で、多孔質磁器を測定しようとする土壤中に埋設し、内部を脱気水で満たして気密にし、これにビニール製の導通管をつけてマノメータに接続し、測定する。最近では、圧力変換装置を付けて、圧力の変化を連続的に測定できるようになった。

本論では、主に1986年4月から10月までの自記テンシオメータの記録を中心に、茨城県の出島台地における土壌水分の特徴、特に灌漑の影響を受ける畑地での土壌水分の挙動をゼロフラックス面に焦点を当てて報告する。

2. 研究方法

2. 1 調査地域概要

研究地域は図-1に示したように出島台地のほぼ中央部に位置し、北側に菱木川、南側に一ノ瀬川が西から東に向かって流れている。両河川に挟まれた地形的分水界に当たるところに、出島用水がこれも西から東に流れており、その両端に灌漑地が広がっている。

観測地は、この出島用水と台地を刻む小河川の谷頭部を含む小流域で、霞ヶ浦をめぐる水循環系の最小単位とも云うべきものである。この流域では出島用水沿いは水田となっており、谷地田谷頭部付近は果樹園となっている。そして、その中間部は畑地として利用されているが、これは出島台地における典型的な土地利用パターンでもある。

ここでは地下水に対し、量としての人為的イン

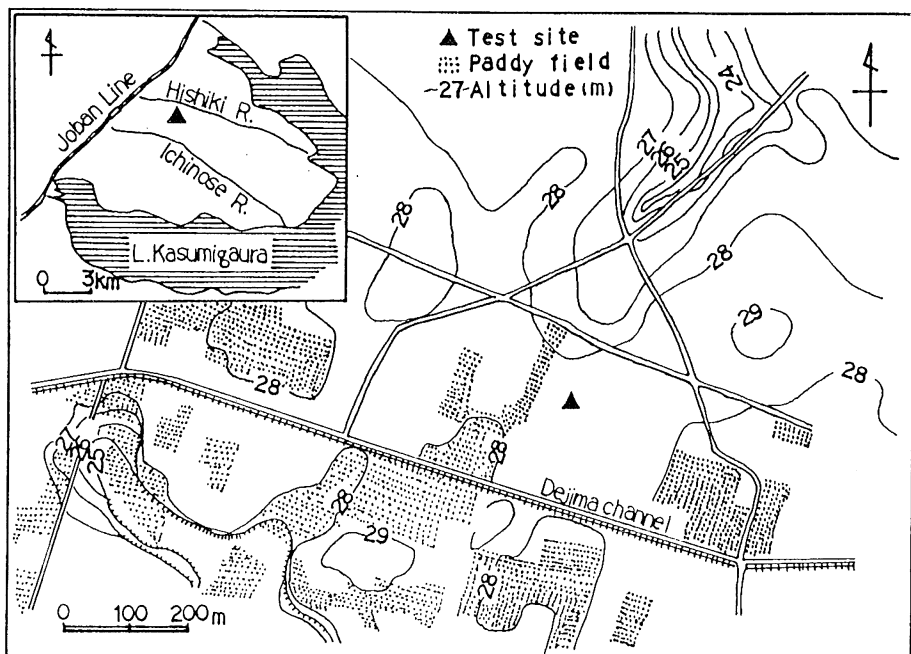


図-1 研究対象地点の概況
Fig. 1 Map of study area

ブットとして水田地区における灌漑水があり、質としての人為的インプットとしては水田域や畑地での施肥の溶脱が考えられる。

観測地点の地質は、地表から深さ 230cm までは関東ロームである。その下位に常総粘土層があり、その厚さは約 70cm である。さらに 300cm 以深には竜ヶ崎砂層がある。

2. 2 調査・観測方法

地表から地下水面までの間の土壌水分の挙動を調べるため、畑地を代表する地点に深度別にテンシオメータを設置した。テンシオメータの設置深度はそれぞれ 10cm、20cm、40cm、60cm、80cm、100cm、120cm、140cm、160cm、200cm、250cm および 300cm であったが、60cm と 140cm はセンサー不良のため観測できなかった。また、この測器は正圧変化への対応がよくなかったため地下水位の観測井戸も設置し、水位を自記記録した。なお、水理水頭を求めるための重力水頭の基準面を地表から 300cm に設定した。

自記テンシオメータとして「大起理化工業株式会社製 DIK-3012」を使用した。この測器は、土壌水分張力 (pF) に平行したテンシオメータ内の負圧を、メータ内に取り付けられたトランスジューサ (圧力変換素子) で直接電圧に変換し、測器本体にリード線で伝送して自記記録する。圧力と検知電圧の関係はほとんど直線的なので、そのまま水柱圧力 (pF) として読み取れ、校正の必要がない。センサーと本体間のリード線は約 20m である。

3. 観測結果

3. 1 水理水頭の変化

図-2 は 1986 年 4 月から 1986 年 10 月までの観測地における日雨量、水理水頭 (9 時の値)、地下水位の経時変化である。水田に灌漑水が入るのは毎年 4

月の末あるいは 5 月の初めであり、この影響によって台地の地下水位は深さ 3m から 1.5m 前後まで一斉に上がる。9 月から用水はなくなり、地下水面が徐々に低下する。地下水位が最も上昇するのは 7 月から 8 月で 1m に、最も低下するのは 2 月から 3 月で 3.5m である。なお、灌漑期の大雨時には 70cm 付近まで上昇する。台地での地下水面の変動幅は約 2.5m である。従って、本論では 5 月から 8 月までを灌漑期、9 月から次の年の 4 月までを非灌漑期と呼ぶ。

図-2 をみると、降雨時の水理水頭の応答速度は深度 40~60cm までは深いほど遅くなり、水理水頭の変化の大きさも小さくなり、降雨後に水理水頭は全層に亘って徐々に低下していく。しかし、80cm 以深では、若干の遅れをもって降雨による地下水面の上昇に伴う水理水頭の急上昇がみられる。

水理水頭の変動をみると、一部の乾燥期を除き明らかに深度 10cm の水理水頭が最も高い。灌漑期にはいると最初の時期 (4 月から 6 月中旬まで) では深度 20~30cm における水理水頭は 40cm 以深における水理水頭より小さい。灌漑期の後半には深度 20cm における水理水頭は逆に深度 40cm における水理水頭より大きくなる。まだこの時期には深度 80cm における水理水頭は深度 20~40cm における水理水頭より大きく、周辺の灌漑による地下水の上昇に伴う上方への水分フラックスが大きいことを示している。8 月末は無降雨により乾燥化が進み、傾度は小さいが、全層にわたり上向きのフラックスとなる。非灌漑期にはいると、水理水頭は深度とともに小さくなるように変わってくる。

観測地の水理水頭の経時変化については、特に灌漑期と非灌漑期とでは水理水頭の分布パターンが異なることが注目される。すなわち、灌漑期には表層付近で主に下方への流れが、毛管帯およびその上部では地下水の変動による上向きの水分フラックスが存在し、Wellings and Bell (1980) のいう収束ゼロ

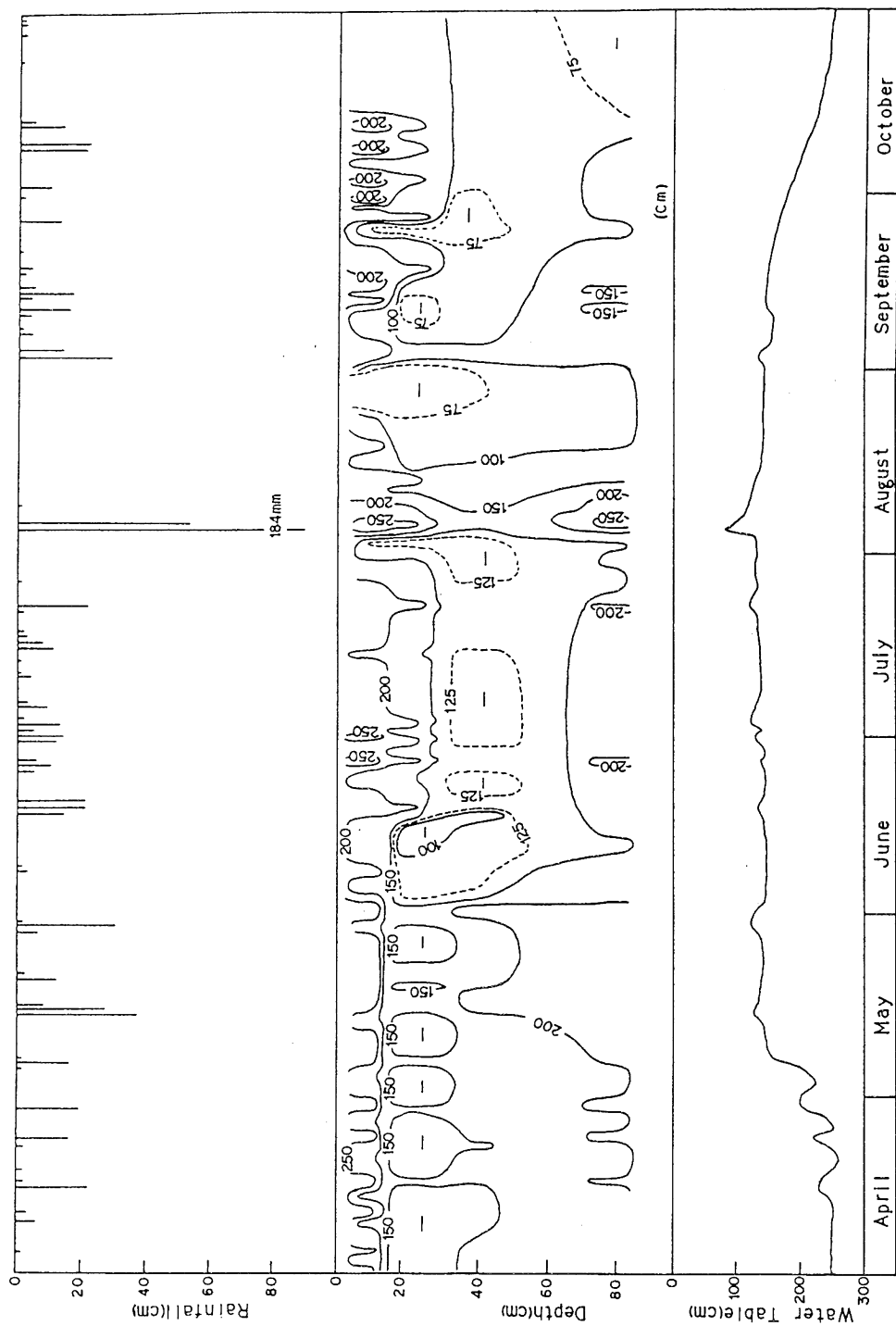


図-2 日雨量、水理水頭、地下水位の経時変化
 Fig. 2 Daily precipitation, hydraulic head, and water table.

フラックス面が30~50cm付近に形成される。降雨直後にはこのゼロフラックス面は若干降下する。非灌漑期には水のフラックスは下向きになってゆく。

3. 2 大雨時の水理水頭の応答

1986年8月4日に降った総降雨量184mmの雨に対する水理水頭の経時変化を図-3に示した。降雨前の水位は深さ110cmで、降雨期間中は80cmまで上昇した。雨の前には、深さ10cmと100cmの水理水頭はほぼ同一であるに対して、そのあいだの部分の水理水頭はそれより小さかった。雨が降ると、水理水頭は全層一斉に上昇するが、雨に対する応答

は、深さ10cmで一番速く、次は深さ100cm、そして深さ20cmであり、もっとも遅いのは深さ40cmであった。降雨時には、深さ10cmの水理水頭が常に高く、深さ40cmが一番低い。降雨初期には、深さ100cmの水理水頭が深さ20cmのより高いが、11時40分から両者の水理水頭は同じになった。雨に対する応答速度からみると表層の水理水頭の変化は雨によるものであるが、100cm(深いところ)の水理水頭の変化は明らかに直接雨によるものではなく、地下水上昇が原因であることが考えられる。また、水理水頭の分布からみると、表層の土壤水には下向きのフラックスが存在するに対して、深いとこ

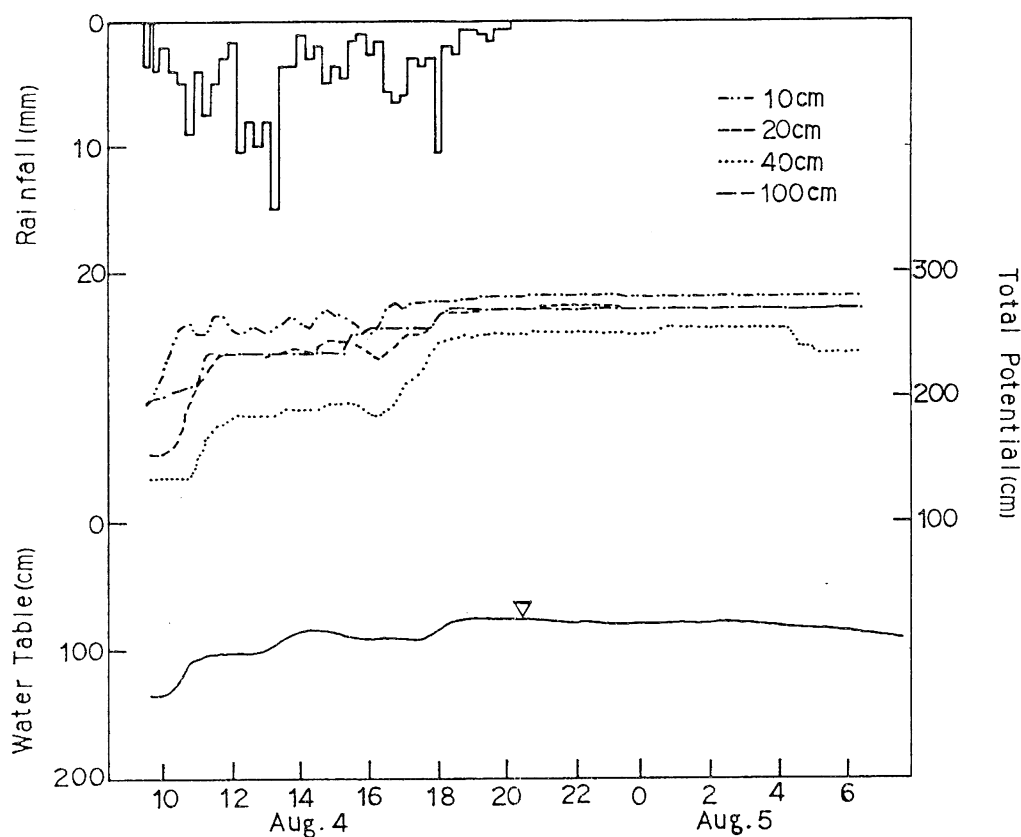


図-3 大雨に伴う水理水頭の応答
(1986年8月4-5日)

Fig. 3 Responses of hydraulic head and water table by a heavy rain (August 4-5, 1986)

ろの水分は上向きの成分を持っている。この場合も、深度 40cm から 60cm の間に収束ゼロフラックス面が存在する。

4. 考察

畑における水分の移動は水理水頭の鉛直分布から推定できる。灌漑期には、雨が降っても、全体的にみれば、深度 40cm から 60cm までの部分を境として、その以深には水分の上向きの流れが存在する。それは水分の供給源が主に地下水であることを意味する。また、この期間中に降った雨は表層土壌に一時的に貯留され、その後大部分は蒸発してしまう。

一方、非灌漑期には、時には雨も降るが、地下水位は徐々に低下して行く。水理水頭の鉛直分布から、土壌水が下向きの流れとなったことが分かる。この期間では蒸発も少なく、地下水位が深いために灌漑期と比べて同じ雨量でも非灌漑期の降雨による浸透深度は大きい。

灌漑期、水田の近くに位置する畑での地下水位の変動は灌漑水の影響を強く受ける。そのため水位の上昇は雨によるものではなく、主に水田の影響によるものと考えられる。雨水が同時に水田と畑に到達した場合、圧力伝達概念を用いて地下水位の上昇が主に水田からの圧力の影響を受けると考える方が適当であろう(新藤・唐, 1987)。

晴天時には蒸発が大きく、特に乾燥化が激しい 8 月末には地下水面(あるいはそれ以深)が(発散)ゼロフラックス面となっている。雨天時には、雨水による浸透のフラックスと水田水による地下水位上昇のフラックスの方向は正反対となる。

田瀬・藤井(1985)、Tase and Fujii(1985)が報告したように、地下水面が非常に浅い場合は降雨後を除いて収束ゼロフラックス面は顕著に発達しないようである。また、灌漑の影響を受けない畑地などでは深度 1 m あたりに発散ゼロフラックス面が形

成されることが多い。これらの点は今回の灌漑の影響を受ける畑地での現象と若干異なる。

非灌漑期には、水田水の影響がなくなり、畑地の地下水位の変動は主に雨と地形に左右される。非灌漑期全体をみると、地下水位が下がりつつある。この場合に、降雨による浸透のフラックスと地下水位の降下による毛管帯中の水のフラックスは下向きとなって一致する。

このような水分の移動特性は、地中での物質の挙動にも大きな影響を及ぼすものと考えられる(田瀬・藤井, 1987; 新藤・唐, 1987など)。前述のように、灌漑期には、深さ 40~60cm の間に収束ゼロフラックス面が存在する。このために、この層内では物質がほとんど移動せず、拡散と化学反応(吸脱着など)が重要な因子となると考えられる。このゼロフラックス面の上位層では、降雨や蒸発による水分の激しい変化のために水質の変動も大きい。ゼロフラックス面の下位層には、灌漑水の影響が主因子であるため、水質も灌漑水に対応して変化する。

非灌漑期には、水位が徐々に低下し、水のフラックスが下向きとなって、浸透速度が早くなるため、物質挙動は化学反応または拡散によるものから移流を主体とするものになると考えられる。従って、物質も地下水位の低下につれて下方へ流出して行く。同様に、この期間中は水田地域にも灌漑水がないために、水田地域でも物質は下方へ流出するものと考えられる。

5. おわりに

本論は灌漑の影響を強く受ける畑地での水分の挙動について野外観測結果から検討した。本研究で得られた結果を要約すると以下の通りである。

(1) 近くに水田がある場合に、畑地の地下水は灌漑水の影響を強く受ける。そのために土壌中の水分の移動は用水による地下水の変動、降雨および蒸発に

依存する。

(2) 灌漑期には地下水位の上昇により毛管帯付近の水分のフラックスは上向きとなり、降雨浸透による下向きのフラックスが存在するために、収束ゼロフラックス面が形成される。灌漑期でも無降水が続くと発散ゼロフラックス面が形成される。非灌漑期には全体として水分のフラックスは下向きとなることが認められた。

(3) 深くに行くほど、降雨による水理水頭の応答は遅くなり、水理水頭変化の大きさも小さくなる。ただし、降雨による地下水面の上昇は毛管帯で上向きのフラックスを発生させる。

(4) 今回使用した自記テンシオメータは土壤水の連続的な測定ができ、不飽和帯における水の挙動を調べるには非常に有効なものである。しかし、この測器は負圧しか測定できないという弱点があるために、飽和帯から不飽和帯にわたる部分の水分の測定には適応できない。この問題を解決する方法の一つは測定地点の地下水位の変動を同時に測定することである。

謝 辞

本研究は昭和60・61年度文部省科学研究費一般研究C

(課題番号：60580197、代表：田瀬則雄)の成果の一部である。観測地は久松氏のご好意により使用させていただいた。記して感謝いたします。

参 考 文 献

- 新藤静夫・唐 常源 (1987) : 地下水位の変動に伴う不飽和帯における物質の挙動. 文部省科学研究費一般研究 (C)「地中水中の物質移動における毛管水帯の役割に関する研究」報告書、9-27.
- 田瀬則雄・藤井一正 (1985) : 茨城県出島台地における土壌水の動きと水質.「環境科学」研究報告集 **B262-R12-2**、37-48.
- 田瀬則雄・藤井一正 (1987) : 地下水位の変動に伴う塩素イオンの挙動. 文部省科学研究費一般研究 (C)「地中水中の物質移動における毛管水帯の役割に関する研究」報告書、28-41.
- 唐 常源 (1985) : 地下水位の変化にともなう毛管帯における物質の挙動. 筑波大学環境科学研究科修士論文、70p.
- Gardner, W., Israelsen, O., Edlefsen, N., and Clyde, H. (1922): The capillary potential function and its relation to irrigation practice. *Phys. Review*, **20**, 196.
- Richards, L. (1949): Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, **68**, 95-112.
- Tase, N. and Fujii, K. (1985): Behaviors of zero flux plane in the unsaturated zone of the Dejima area, Ibaraki Prefecture, during an extremely dry year of 1984. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **11**, 15-18.
- Wellings, S. and Bell, J. (1980): Movement of water and nitrate in the unsaturated zone of upper Chalk near Winchester, Hants, England. *Jour. Hydrology*, **48**, 119-136.
- (受付：1987年4月20日，受理1987年5月19日)