
 講 座

水田用水量調査計画法 (その1)

中 川 昭 一 郎*

目 次

- I. 緒 言
- II. 水田用水量に関する二、三の基礎知識
 - 1. 水管理と適正用水量
 - 2. 用水量計画に必要な水田の分類
 - 3. 減水深と広域用水量 (以上本号)
- III. 水田用水量の消費機構と調査測定法
- IV. 水田用水量の変化と調査計画法
- V. 今後の用水量計画
- VI. 結 言

I. 緒 言

最近水田用水量の調査計画上の基本的な方向として、次のような問題が提起されている。

① 用水量計画に際しては、たんに現況用水量の不足を補給するという観点からばかりでなく、水稻生育を高めるに必要な適正用水量という観点も重視し、このために必要な排水改良・土層改良などと合わせて検討する必要がある。

② 水田用水量に関する従来の調査は、現況用水量の把握がその中心であった。しかし今後はホ場整備や新栽培法の導入などに伴う用水量変化を事前に推定するための調査が必要であり、このためには各種用水量変化の事前推定方式が確立されねばならない。

③ 従来の用水量計画では、一つの点である一筆水田減水深を、そのまま面に拡大して広域水田の用水量を求めてきた。だが近年では広域水田における用水消費機構が明らかになるにつれ、減水深を単純に用水量計画の基本単位とすることに多くの疑問が提出されており、従来の用水量計画方式は再検討されねばならない。

④ 社会の進歩につれて水資源の需要は高まり、将来の新たな水源の開発はますます困難になる。よって今後用水量の増加に対しては、水田自体の水利用を合理化することによって、その増加量をまかなうことが必要になる。このためには今まで慣行的にしか考慮されていなか

った用水の反覆利用を、もっと組織的に計画する必要がある。

1945年に農林省農地局の手で公開された「土地改良事業計画設計基準カンガイ編」は、その時点における既往の研究成果や経験が体系化されており、水田用水量調査計画の進歩にとって全く画期的なものであった。しかしながらこの基準も公開以来すでに 10 年以上を経過し、その内容だけでは上述のような諸問題に対処することは不可能になってきた。幸にして基準公開以後今日にいたる間、水田用水量に関する基礎的、応用的研究には著しい進歩がみられ、すでにその成果の一部は最近の用水量計画を樹立する上で重要な役割を果しつつある。しかしながらこれらの研究成果の大部分は、いまだに一部研究者や先進的技術者のものだけに止まり、計画担当の全ての技術者にまで広く普及されるにいたっていない。

本講座は以上のような理由から、「計画基準」刊行以後の水田用水量に関する調査事例や研究成果の主なるものを要約整理し、上述したような今後の用水量調査計画上の諸問題解決に糸口を与え、合せて現場技術者の当面の要望に多少とも答えることを意図したものである。よってすでに「計画基準」に書かれている内容についてはなるべく重複を避け、それ以後の研究によって修正が必要と思われる事項や、基準ではあまりふれられていない問題を中心に記述することにした。

なお執筆に当っては、農業土木分野における調査・研究成果のみでなく、地域・道府県農業試験場などの他分野における各種資料をも幅広く活用させていただいた。講座を始めるに当りこれら資料を利用させていただいた関係者各位に対し厚くお礼申し上げたい。

もとより本講座で意図したような内容は、浅学の筆者一人の力で全てをつくしうるものではない。この講座が従来の「計画基準」の欠点を補ない、また今後の基準改訂への一つの足がかりともなれば幸いである。

II. 水田用水量に関する二・三の基礎知識

水田用水量に関する一般的基礎知識は、すでに「計画基準」やその他の参考書に詳述されているので、本章で

* 農業土木試験場土地改良部

は今後の用水量調査計画上とくに必要と思われる二・三の基本的考え方について述べ、次章以後の具体的調査計画法の理解に役立てたい。

1. 水管理と適正用水量

水田の水管理については、旧来は田面にある程度のタン水をただ与えさえすればよいとの考え方が支配的であった。しかしその後、水稻の生育段階に応じ用水の必要程度には表-1のような相異があることが解明され*、近年では普通移植栽培における標準的水管理法は次のようになっている。

表-1 水稻生育過程と用水の必要性

生育過程	用水の必要性	生育過程	用水の必要性
1. 活着期	最必要	6. 穂バラミ期	最必要
2. 1次分ケツ期	必要	7. 出穂開花期	必要
3. 2次分ケツ期	必要	8. コ熟期	必要または必要少
4. 無効(最高)分ケツ期	必要極少	9. 黄熟期	必要少
5. 幼穂形成期	最必要	10. 完熟期	必要極少

(注) 河原卯太郎氏による。

すなわち耕起された田面にカン水シロカキを行った後田植が行われるが、田植直後の活着期には倒れやすい稲を保護するため深水に保つ。活着期以後は分ケツを促進するため浅水とし、最高分ケツ期を過ぎた頃、分ケツを抑制し、土壤の異常還元を防ぐため約1週間程度の中干しを行う。穂バラミ期前後は全生育期間中でも最も水を必要とする時期であり、この期間は比較的深水とする。コ熟期以後は水の必要度が次第に減少し、出穂後約30日を過ぎたころ落水する。以上のうち西南暖地ではとくに高温障害と秋落ち防止に重点をおき、寒冷地では生育を早め冷害を防止することに重点をおいて水管理を行っていることが多い**。

以上のように今までの標準的水管理は、主として田面タン水のコントロールが中心であった。しかし戦後の米作日本一競争水田などで、900 kg/10 a (6石/反)以上の多収穫を上げた水田は、いずれも浸透の比較的良好的な水田であったことから、水稻生育を高める上での透水効果が研究されはじめた。その結果水稻収量と水田の降下浸透量の間には密接な関係があり、収量を最大ならしめるような適正浸透量が存在することが明らかになってきた。

この適正浸透量を決定する要因としては、①浸透によって作土内に生成されるアンモニア量とその濃度の増減②浸透による2価鉄その他の有効成分流亡の程度、③土壤中に生成される有害物質、ガスなどの浸透水による希

* 河原卯太郎：節水栽培，農土研 Vol. 28, No. 8 (1961)
 ** 天辰克巳：稲作と灌漑，地球出版 (1959)

釈程度、④浸透による水地温の変化、などの諸因子が考えられているが、これらはそれぞれ単独に水稻生育に影響するものではなく、相互に複雑にからみ合い、それが総合された結果として水稻生育、収量に関係する。したがって適正浸透量の存在は、経験的に、あるいは統計的にその存在が知られるのみで、その要因を分離して明らかにすることは非常に困難である。

現在までにこの透水効果、適正浸透量について一応明らかになった事項には次のようなものがある。①図-1・2に示したように適正浸透量は 15~25 mm/day、減水深

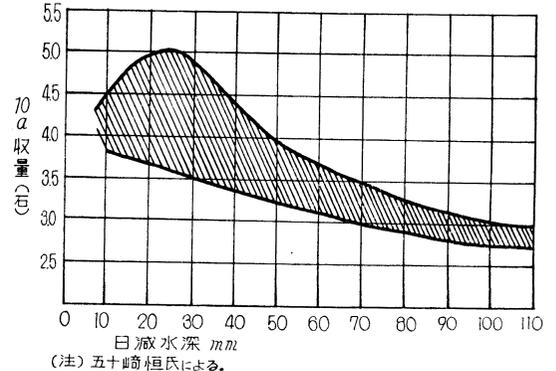
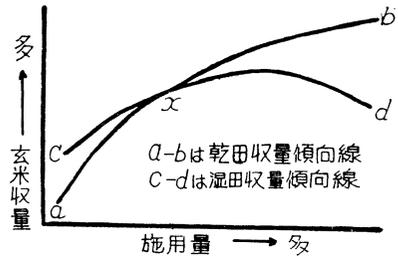


図-1 日深水深と収量の関係



(注) 城下強氏による。

図-2 乾田および湿田における窒素肥料・粗大有機質肥料の施用効果の傾向

にして 20~30 mm/day 前後にあって、10 mm/day 以下あるいは 50 mm/day 以上の水田では、多量の肥料を施用しても、多収穫を望むことはむずかしい**。②水稻生育時期別にみれば、最高分ケツ期以前は透水効果はむしろマイナスに働き、後期においてその効果が著しい傾向がある***。③透水効果の要因のうち、気温の低い地方では浸透による地温上昇が主として関係し、温暖地方では土壤中の養分生成、有害物質の流亡が主として水稻生育に関係する***。

* 五十崎恒：適正浸透量について，農土研 Vol. 24, No. 6(1957)
 ** 城下強：稲作と水管理に関する土壌肥料学の問題点，昭和40年度日本農学会シンポジウム発表要旨 (1965)
 *** 農林水産技術会議：稲作における土壌と水に関する研究 (1962)

よって今後の水管理としては、気象・土壌条件などを十分考慮した上で、水稻生育段階に対応したキメの細かい水管理が必要になり、それもただ田面のタン水をコントロールするだけでなく、浸透の悪い湿田などでは明キョや暗キョなども作用させて、土壌中に適正浸透を起こさせることが大切になる。

以上、水田の水管理と適正浸透量について述べたが、このような考え方からすると、今後の単位用水量の計画としては、対象水田の適正用水量（適正浸透量+蒸発散量）がその補給対象となる。この適正浸透量を絶対視する立場に立てば、各筆水田の用水量は水稻生育上から先に決まることになり、計画単位用水量の決定は簡単で、むしろこの適正用水量を現出させるような水田条件の整備の方が問題となる。すなわち適度の漏水田に対しては客土・床締めなどによって過大な浸透を防止し、排水不良の湿田に対しては暗キョ排水などによって乾田化をはかり、不透水性の土層を有する水田には心土破碎などの土層改良を行って、いずれも適正浸透に近づけるような対策が必要である。

しかしながら適正用水量から計画用水量を先に定め、それを現出させるような土地改良を逆に考えて行くこの考え方は、将来の方向としては重要であるが、現在の段階ではその経済効果の判定などがむずかしく、実際の土地改良計画として採用するにはまだ問題が多い。ただし今後のホ場整備は機械化のために田面排水や地下排水をより強化する方向にあり、この点から考えると浸透量は大きい方が望ましく、用水と排水の両者を同時に満足させる水田の条件としては、やはり 20~30 mm/day 程度の減水深を示す場合が最も望ましいといえる。従って将来の不確定な用水量をも事前に見込む必要がある場合などでは、この適正用水量から計画単位用水量を決めれば将来とも大きな誤まりはおかさないですむものと考えられる。

2. 用水量計画に必要な水田の分類

各筆水田の純用水量（減水深）の内容としては、蒸散量（葉面蒸発量）、株間蒸発量（水面蒸発量）と降下浸透量、アゼ浸透量の四つがあるが、このうち前二者の合計である蒸発散量は地域別、乾湿田別、栽培法別などのいずれよりみても大差はなく、またアゼ浸透量はその大半が次々に反復利用される性質のものであり、個々の農家の水管理上問題とはなっても用水計画には余り重視する必要はない。この点、降下浸透量は、区画整理や用排水改良などのホ場整備や乾田直播、深耕などの栽培法、水管理法などが変わることによって著しく変化し、今後の用水量変化は、すなわち降下浸透量の変化であるとい

える。

一般に降下浸透を左右する原因としては、カンガイ期における土壌条件（透水性）と水理条件（排水路水位や地下水位によって代表される土壌中の動水コウ配）の二つがあり、この両者の相互関係によって浸透量は決まってくる。いまこの関係をわかりやすく定性的に示すと表-2のようになり、用水量計画上有効な水田の分類が可能となる*。

表-2 透水条件による水田の分類

		土 壌（最少透水層）の 透 水 性		
		大(K=10 ⁻⁸ 以上)	中(K=10 ^{-4~8})	小(K=10 ⁻⁶ 以下)
水 理 的 条 件	良(排水路水位 1.0m 程度以下)	A	D	G
	中(排水路水位 1.0~0.3m程度)	B	E	H
	悪(排水路水位 0.3m~タン水面)	C	F	I

(注) Kは土壌の透水係数 (cm/sec)

この表で水理的条件はあくまでもカンガイ期間中の水理条件を意味し、たとえ非カンガイ期に地下水位が低下する乾田でも、カンガイ期には排水路水位や地下水位が田面近くまで高まる場合には水理条件は悪とみなす。また土壌の透水性は、水田土層（深さ約1mくらいまで）のうちの最も透水性の悪い土層の透水係数を意味し、一般には耕盤の透水性がこれに該当するが、時にはシロカキした作土の透水性が該当することもある。なお（ ）内の数字はいずれも大よその目安であって厳密なものではない。とくに水理的条件の区分は後述のⅢ-2で詳述するように、厳密には土壌中のポテンシャルでもって表わすのが妥当であるが、実用上あえて排水路水位で代表させた。よって台地や扇状地の水田などで地下水位が低く開放浸透**を起こしている場合には、たとえ排水路水位が高くても水理条件としては良に考えてよい。

この表において、A~Iのそれぞれの水田の性格を述べると次のようになる。

- A…土壌の透水性が大きく、地域全体の地下水位が常時低い浸透量の過大な漏水田である。台地、火山山ロク、扇状地、砂丘地などの水田がこれに当り、客土・床締めなどによりDの状態に近づける必要がある。
- C…透水性は大きい、カンガイ期の水位が高いために浸透が過小となっている水田である。低湿地帯の中にある砂質土、泥炭地などがこれに当り、排水改良乾田化や用排水の分離によってAに近づき浸透量は著しく増加する。
- G…地形的にみて水理的条件はよいにもかかわらず、土

* 中川昭一郎：湿田の乾田化に伴う透水条件の変化について、農士試報告 No. 2 (1964)
 ** 田淵俊雄：負圧浸透について、土壌の物理性 No. 1 (1959)

壤の透水性が悪いことに起因する水田である。キ裂の発達しない粘質土地帯、不透層の浅い水田、耕盤が特に発達した水田、シロカキで作土の透水性低下が著しい水田などがこれに当り、前の3者は土層改良によって後者の場合は乾田直播（無シロカキ）によって、浸透量は増加する。

I…排水路水位が常時高く、かつ透水性の悪いための不浸透田である。一般の低湿地帯はそのほとんどがこの両者に起因して浸透が少なく、単純な排水改良だけでは余り浸透量は増加しない。適正浸透量に近づけるためには暗キヨを浅く密に行つて非カンガイ期の土壤乾燥効果によりキ裂を発達させて透水性を改良するか、心土破碎などの土層改良を行つてDの状態に近づけねばならない。

B,D,E,F,H…A,C,G,I のそれぞれ中間的な性格の水田で B,D,E は一般にはほぼ適正浸透量を示す標準的な水田と考えてよく、F,H は不浸透田に属する水田である。このように土壤の透水性と水理的条件の両者から、水田のカンガイ期における性格を明らかにしておく、今度の各種用水量変化を事前に推定するような場合、その大様を知る上で有用である。

例えば、機械化に伴う明キヨや暗キヨ排水の整備によって水理的条件が改良されると、同じ浸透量の少ない水田であっても、CであればB,Aに近づくために浸透量は急に増大し、Iであれば施工後はH,Gに近づいても浸透量はほとんど増加しないことがわかる。（ただし乾田化に伴う非カンガイ期の乾燥により、透水性は漸次増加してE,Dなどに近づいて経年的には浸透は増加することが多い。）* また乾田ジキマキによってシロカキが行われなくなると、同じ浸透の悪かった水田でも、シロカキによる作土の透水性低下により漏水を防いでいたGのような水田では、D,Aに近づいて浸透量は急激に増加し、水理的条件のために浸透の悪かったIの場合には無シロカキによってF,Cに近づいても浸透量はほとんど増加しないことが推定される。

以上の例からもわかるように、現状の水田がこの表のどの位置に属するかをまず明らかにし、その上でホ場整備や新栽培法によって、両者の条件のいずれがどの程度変化するかを知られば、浸透量変化の傾向はおのずから明らかになってくる。

従つて今後の用水量計画を樹立するための調査に当つては、たんに現況の減水深を測定するだけでは意味がなく、同時に水理的条件を示す排水路水位や地下水位、お

よび土壤の土層別透水性（透水係数）を測定しておくことが是非必要である。なお一般に水田土壤の透水係数は土性とは余り関係がなく、またカンガイ期には非カンガイ期よりも相当に小さくなる場合が多いので、土壤調査に当つては十分の注意を要する。

3. 減水深と広域用水量

従来、広域水田地帯の用水量計画は、各筆水田の計画減水深に面積を乗じ、それに水路・配水損失水量を加えて求めるのが一般の方法であった。しかしながら最近では、減水深の測定精度自体への反省* とともに、広域水田内部における用水消費機構の研究が進むにつれて、点としての減水深をそのまま面としての広域用水量に拡張積算することへの疑問が提起されつつあり、今後の用水量計画に当つては、この減水深と広域用水量の関係についての新しい知識を必要としている。

各筆水田の減水深に比べて、これらの集合体である広域水田の用水消費機構は一層複雑であり、単純に個々の水田減水深を積み重ねただけで事足りる性格のものではない。一連の水田群についてその内部における用水消費の実態をみると、地形・地質・用排水組織などの条件によつても異なるが、用水の反覆利用が行われている場合が大半である。

いま広域水田の水収支から求まる広域用水量と、地域内の平均減水深との関係を対比させて考えてみると次のようになる。

一般に気象条件や水管理の安定した時期における広域水田の消費水量は次式で示される。**

$$D = (D_1 - D_2) = (G_2 - G_1) + E \quad \dots\dots\dots(1)$$

D…消費水量, D₁…地表水流入量,
D₂…地表水流出量, G₁…地下水流入量,
G₂…地下水流出量, E…蒸発散量

すなわち、広域水田への地表流入・流出量差(D₁-D₂)を広域用水量とすれば、蒸発散量Eは地域的にもほぼ一定であるので、これの大小を決めるものは地下水流動量(G₂-G₁)だといえる。

一方水田減水深は浸透量と蒸発散量とより構成されているが、このうち浸透量の一部は近傍の排水路などへ浸出して再び地域内で地表水となり、残りは地下水となつてG₂を増加させ地域外へ流動してしまう。よつて減水深のうちの浸透量をFとし、そのうち地域内で再び浸出する水量をG_Sとすると、(1)式の(G₂-G₁)は次式で示される。

$$(G_2 - G_1) = F - G_S \quad \dots\dots\dots(2)$$

* 中川昭一郎：湿田の乾田化に伴う透水性の変化について、農土試報告No. 2 (1964)

* 華山謙：減水深法の再検討、農土研 Vol. 32, No. 1 (1964)

** 金子良：農業水文学、土木雜誌社 (1957)

よって(1)および(2)式より減水深 H と広域用水量 D は次のようになる。

$$D = (F - G_s) + E = H - G_s \dots\dots\dots(3)$$

以上、(1)、(2)、(3)各式をもとに減水深と広域用水量および各消費水量との関係を整理すると次のようにいうことができる。

① 水収支から求まる広域用水量 D は、地域内の平均減水深より小さい場合が多く、地域内で浸出する浸透量 G_s の割合が大きければ大きい程、 $(F - G_s)$ は小となり D は蒸発散量 E に近づく。すなわち広域水田の対象面積が広くなればなる程反覆利用の機会が高まり、広域用水量は蒸発散量に近い値を示す。

② 河川下流部の低平地帯などでは、地下水流動量 $(G_2 - G_1)$ が無視できるので一般に $D \approx E$ となる。たとえ排水改良乾田化によって各筆水田の浸透量 F が増大しても、その大部分は地域内の排水路に浸出して地表水 G_s となり、広域用水量 D にはほとんど変化がなくやはり E に近い値を示す。

③ 河川上中流部の扇状地など浸透量 F の大きい水田では、その一部は G_s となるが、大半は地下水流動となり、地域外への流動量 G_2 を激増させる。よって地下水流動量の少ない低平地帯の場合と異なり、広域用水量 D は減水深 H に比較的近い値を示し、その傾向は対象面積が小さいほど強く現われる。

④ 扇状地から低平地まで連続した水田地帯が広がっているような場合、その下流地域では上流からの地下水流入量 G_1 が大きいために $G_2 < G_1$ となることが多い。このような地域では地下水が地域内でユウ出することになり、広域用水量 D は蒸発散量 E よりも小さく、時には D それ自体がマイナスとなることもある。*

このように減水深と広域用水量の関係は、地形・地質・用排水などの諸条件により非常に複雑であり、いまだ全てが明確になったとはいえないが、これらの諸関係

を実際の広域用水量計画に際しどのように考慮すべきであろうか。以下要点のみを列記すると次のようにいうことができる。

① 対象面積が小さいほど反覆利用の機会は少なく、広域用水量は減水深と大差がない。よって末端小用水路の支配する数 ha 、数+ ha 程度の水田群については計画減水深をそのまま単位用水量としても大きな矛盾はない。

② 扇状地など浸透水の大部分が地下水流動となって地域外に流去してしまう水田地帯では、対象面積が数百 ha 程度になっても広域用水量を余り考慮する必要はない。

③ 緩傾斜地で用排兼用水路となっている水田地帯や地下水流動が無視できる低平地水田地帯などでは、反覆利用の実態を知るため、地形・用排水系統などから地域内を幾つかのブロックに区分し、水収支調査によって各ブロック間の地表水流入・流出量を知って反覆利用を含めた地域全体の計画用水量を求めなければならない。

④ 地下水流動の小さい低平地帯では、排水改良・区画整理などが施行され減水深が増加した場合でも、地域全体の地下水流動には余り変化がないので、各ブロック間の流入・流出量の大勢には影響が少ない。よって現況における水収支調査は施行後の計画用水量を決める上で重要な意味を持つ。

なお、実際の広域水田地帯の用水量としては、各筆水田減水深のほか、各水田へ均等な用水を配分するための余裕水量が必要であるが、これは地域の諸条件によって千差万別であり一概にいくらかと決めるわけにはいかない。ただし従来の用水量計画において、減水深に面積を乗じて求めた水量でも、ほぼ満足すべき状態が得られていたのは、本来この水量が広域水田内部における反覆利用によって生じる余裕水量をも含んだものであり、これが現実には均等配水に必要な水量として利用されていたためと考えられる。

* 金子良・中川昭一郎：津軽平野の水収支，農土試技報A No.1(1966)

(1966.2.15 受稿)