

## 1. 農業用水の概況

わが国の水田用水量は日減水深にして平均 20 mm 程度であるので、全国 335 万 ha の水田で使用される水量は、7700 m<sup>3</sup>/sec、かんがい期間総量で約 600 億 m<sup>3</sup> の計算になるが、かんがい期間雨量の 80% を田面有効雨量として差し引くと、460 億 m<sup>3</sup> の水が必要となる。

これをわが国河川の全山地流域 26 万 km<sup>2</sup> から流出する年間総量と比較する。平水比流量 100 km<sup>2</sup> 当り平均 3.47 m<sup>3</sup>/sec として計算した年間総流出量は 2800 億 m<sup>3</sup> (日本農業と水利用 37 ページ)、山地流域の平均降水量 1600 mm、年蒸発量 700 mm、年流出高 900 mm として計算すれば 2360 億 m<sup>3</sup> になる。

すなわち農業用水の使用量は河川の年間流出総量に対しては 17~20%、かんがい期平水量の 70% 程度と概算される。ただし農業用水は反復利用されるので実際の消費水量を明確にすることは困難であって、全国的には 10~15 mm/day が大体の標準と推定される。それでも各地に干害、水争いがしばしば生じるのは、夏期渇水が 100 km<sup>2</sup> 当り全国平均の 1.3 m<sup>3</sup>/sec 以下になるところが多く、地域的に農業用水の需給に不均衡があり、また水利慣行が不合理であることによる。

河川水の不足する地域では溜池、地下水などの水源が利用される。その水源別面積は表-1 に示されるように

表-1 水源別かんがい面積  
(日本農業と水利用 39 ページ)

水源別	かんがい面積	割合	付記
河川、湖沼	237.5 万 ha	70.6%	補助水源はふくまず、主水源の面積で区分する。
溜池	56.3	16.8	
地下水	13.4	4.0	
溪流	12.4	3.7	
天水田、その他	16.4	4.9	
計	335.0	100	

河川が 70% を占める。

河川を利用する場合、水田面積に対する水源面積の比

\* 正員 農林技官 農林省農業技術研究所農業土木部

率は河川流況にも左右されるが、一般に水田面積の 10~20 倍あることが望ましい。しかしこの比率が 20 倍内外に達するところは、米代川、天竜川、吉野川、大淀川などだけで、大部分の河川は 10 倍以下である。なお、大河川ほど概して流況がよく、用水の反復利用もきくので、この比率は小さくてもよい。

香川平野、大和平野、大阪平野、加古川、その他瀬戸内の各地河川沿岸の多くは、山地流域の比率が小さい用水不足地帯で、水田面積の 70~80% 内外が溜池によってかんがいをされている。これらの地域は古来平地溜池がよく発達し、複雑な水利慣行にしばられてきたが、近時工業用水もふくめた大貯水池の計画(流域変更をとまう)が進められている。

低地地の水もポンプの発達によって経済的に有効化されるようになり、低湿地の排水路、潮止堰による河口付近の水、干拓地における淡水化されたもと海面などは新しい水資源として注目されるようになった。

地下水によるかんがいは湧泉と原始的施設によるものが古くからあるが、ポンプの発達によって急速にのびた。河川や溜池の利用困難な地域も多いので、地下水利用は水利施設の立ちおくれたところで最も重要となり、またかんばつ時の補助水源として各地に利用が広がっている。愛知、岐阜、秋田、滋賀、福島、群馬、栃木の各県は地下水利用のさかんなところで、河川の上流沿岸では集水池、浅井戸、集水暗きょ、横井戸による浅層地下水、下流平野では深井戸による深層地下水が主として採水される。

## 2. 水田用水量の種類と構成

水田用水量は時期別に、単位面積当りの流量 (l/sec, m<sup>3</sup>/sec) または水深 (mm/day) で示され、次のように区別される。

要水量：水稻が生育するために生理的に必要とする水量で、根から吸収し葉面から蒸散する葉面蒸発量に相当する。

純用水量：水田の一區画のなかで消費される水量で、葉面蒸発量、株間の水面蒸発量、水田土中を下方または畦畔を通じて側方へ浸透する水量をふくむ。減水深に相当する。

粗用水量：ある範囲の水田を対象とし水路中の損失、水のかげひきにともなって地域外へ流出してしまう水量を加えたものである。

計画用水量：実際に必要な水量で、粗用水量から田面に降った雨のうち利用可能な有効雨量を差し引いたものである。

用水計画は計画単位用水量にかんがい面積を乗じた水量をもとにするが、単位用水量は時期別に異なり、また

計画年の気象状態が何年確率に相当するか、経済効果との比較検討が必要となる。

河川の全水系を対象とするような広地域の用水需要と水資源を問題にする場合には、浸透水や残水の反復利用分が大きく影響するので、局所的な用水量を積算した値とかなり相違する。

これらの用水量のほかに特殊な農業用水の使用がある。代がき、中干し、間断かんがい、保温、水温調節、虫殺し、風害防止、除塩、舟運などであるが、普通行なわれるのはそのうちの前三者である。

代がきは乾田の場合農業用水量における最大用水時期を形成することがあり、中干し後のかんがいは8月の用水ピークを構成する。間断かんがいは用水不足対策や冷水温対策に必要なものであるが、ポンプの運転時間によっても当然生じる。暖地水田では高温障害防止のためかけ流しが行なわれる。ポンプ排水するような低温地では必要に応じて水田を深水にできるので、虫殺し、風害防止、舟運に利用する。ただしこれは木曾川下流などに見られるごく特殊の場合である。

### 3. 水田用水量の標準値

#### (1) 葉面蒸発量 (蒸散量)

従来しばしば使用された葉面蒸発量の概数は表-2に示すとおりであるが、各地の試験結果によると反収の多いものほど過大となっている。

表-2 玄米収量と葉面蒸発との関係

10 ha (1反) 当り玄米収量	葉面蒸発量の蒸発計蒸発量に対する比率
225~300 kg (1.5~2石)	1.0
300~450 (2~3)	1.5
450~600 (3~4)	2.0

表-2は葉面蒸発量が蒸発計蒸発量と収量に関係が深いことを示している。水稻の根を除く風乾物1grを生産するための必要水量は約400gr、すなわち風乾物に対する倍数400が標準となっている。時期別の葉面蒸発量は生育初期から出穂時期まで次第に増大し、登熟するにつれて小さくなる。

旬別の平均値にして最大は、普通栽培で8月上、中旬、早期栽培で7月下旬となり、5~6mm/day程度である。これは全期間平均の値に対して1.5倍ぐらいに相

当する。

#### (2) 株間水面蒸発量

生育初期は蒸発計蒸発量の70%程度であるが、莖葉の繁茂につれて20~30%に低下し、全期間では約50%、すなわち200~300mmとなる。普通栽培の最大時期は7月上旬で4~5mm/day、早期栽培の最大時期は5月下旬で4mm/day程度であり、ともに生育後期は1mm/day弱に低下する。

#### (3) 葉水面蒸発量

葉面蒸発および水面蒸発は水田用水量のうち完全に空中へ消えてゆくものであり、水資源を問題にするときには両者を一括し、葉水面蒸発の値として検討するのが便利である。この値は水田浸透量と異なり比較的一定した標準である。表-3、表-4は各地の試験場、大学の実測値から求めた地方別、時期別の大勢であるが、観測年の長短、品種、収量の差などが整理されてないので、今後資料を豊富にして修正することが望ましい。

表-4 葉水面蒸発対蒸発計蒸発量比の地方別大勢

地 域	6月	7月	8月	9月	10月
北海道	1.1	1.1~1.4	1.6~1.9		
青森	1.1~1.2	1.2~1.3	1.2~1.3	1.3~1.4	
北陸		1.0~1.5	1.3~2.0	1.3	
神奈川		1.2~1.3	1.4~1.5	1.2~1.4	
近畿、中		1.1~1.5	1.6~2.1	1.7~1.8	
九州		1.0~1.2	1.1	1.2~1.3	1.2~1.3
全 国	1.1~1.2	1.1~1.4	1.2~2.0	1.2~1.7	1.2~1.3

この値は地方別にわずかの差異はあるが、大体生育の初期と後期が4mm/day内外、最盛期が6~8mm/dayという標準となっている。なお早期栽培は四国農試の4年間にわたる例だけであるが、生育の後期が大で普通栽培の型と異なる。

#### (4) 浸透量

浸透量については標準値がなく、土壌条件、地形、地下水水位、耕作方法によって大いに差がある。このうち降下浸透は土壌中を下方へ地下水面まで降下するもの、横浸透は付近の排水路や下方の水田へ横あるいは斜に浸透するもの、畦畔浸透はすき床より浅い部分を畦畔をとおしてろう水するものを指す。しかしこれらの区別は明確でない。

土壌の透水性は粒度、空げき率、空げきの大きさ、きれ

表-3 葉水面蒸発の地方別大勢 (mm/day)

地 域	5月			6月			7月			8月			9月			10月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
北海道	//////			4			5			6~7			//////			//////		
青森	//////			4~5			5			5~6			3~4			//////		
北陸	//////			3~5			6~7			5~7			5~6			2~3		
京(西ヶ原)	//////			4~5			6~7			5~6			4			//////		
神奈川	//////			3~5			6~7			6~7			5~6			//////		
近畿、中	//////			4~5			4~6			8~9			6~7			//////		
四国	//////			4			5~7			5~7			4~5			//////		
九州	//////			3~5			4~6			6~7			5~6			4~5		
全 国	//////			3~5			4~6			6~7			4~6			3~4		
早期栽培(四国)	4			4~5			5~6			6~8			4~6			//////		

つなどの非毛管孔げき、土層厚さなどに左右される。なお降下浸透には空気をふくんだ不飽和状態の場合が多く、気泡の影響で透水性を減じる。地下水位が田面湛水と一致するような排水不良田では土質に関係なく浸透が0に近いが、自然堤防や海岸の砂質地、扇状地、谷底平野などの耕土の浅い砂礫地では地下水位が0から100 cmと低下してゆくと、浸透度は急増する。ただし、ほぼ100 cm以上深くなるとその後の増大は顕著でない。泥炭地の水田はしばしば横浸透が大きく、また透水性の小さい場合もあって一定しない。浸透性の大きい水田も多量のかんがいによって地下水位が上昇する場合には、結局浸透がある限度で平衡する。ろう水田といわれるような水田は100 mm/dayにおよぶ浸透量を示す。

低温地では、土壌と地下水位の関係で水稻の生理的に望ましい浸透量(20~30 mm/day)以下にあるため、排水して土壌構造を発達させ、浸透を促進する必要がある。暗きょ排水も非かんがい期だけに活用するのではなく、適正浸透量を与えるように操作することが有効である。

洪積台地の水田は地下水が深いことと、火山灰土特有の非毛管の孔げきのため浸透が大きい。開田後数10年を経過しても50 mm/day以上の減水深を示すところも多く、新規開田には床締か客土が絶対に必要である。これによって30 mm/day以下の減水深にすることは困難ではない。

一般に水田は長年耕作しているうちにすき床が形成され水の降下浸透が阻止される。これは上から沈降した土の微粒子や溶脱物質の集積、および水田作業で踏固められるからである。しかし深耕で破壊したり、裏作期または田畑輪換による乾燥によってきれつを生じることがある。このため毎年の水田作業として、<sup>じり</sup>代がきが必要となる。代がきは耕土を砕いて田面を水平にし、田植を容易にするとともに、すき床のきれつをふさぐものである。香川平野などの用水不足地帯は代がきが特に入念である。

#### (5) 代がき用水量、その他

代がきに要する水量は耕土を飽和させ、さらにある水深を湛水させるための水量で、通常150 mm程度を使用する。用水不足地帯では雨をまって代がきを行ない、またその用水がないため一毛作の湿田状態にしているところが多い。乾田化が進んで裏作が全面的に入り、作業の機械化のため努力的に短期間の代がきが可能になると、その地方での優良品種が一斉に作付されるようになると、代がき用水は水田用水量のピークを形成することがある。この際空梅雨だと水不足が深刻となる。しかし代がき時期は普通梅雨期にあたり、また代がき期間も10日間程度にして地域をわけて順次に行なうのが通例

である。

苗代水は代がき前に通水するので、周辺の耕地に水が入らず水路や田面の浸透がやや大きくなる。また水管理を入念にやる必要上、本田より大きい単位用水量を見込む。しかしその面積が本田の1/20程度であるからあまり問題はない。

畦畔浸透水、横浸透水は一田区の減水深に大きく影響しても、すぐ近くの排水路や水田へ浸出するので、対象面積を広くした場合の水田用水量にはあまり関係しない。

## 4. 水稻栽培法と用水量

### (1) 普通栽培

一般に稲作の水管理としては、田植後しばらく活着するまでは6 cmぐらいのやや深水とし、分けつ期はやや浅水、有効分けつの終了したところで中干し、穂ばらみ期、出穂期に十分な給水、出穂後約30日で落水するのが大体の標準である。なお生育初期は排水をおさえて水温上昇と肥料流亡に注意し、生育後期からは排水をよくして根の活力を保つような排水操作を行なう。

普通栽培の用水ピークは6月の代がき期と8月の穂ばらみ、出穂時期と2回ある。これが空梅雨、夏期連続干天にあたると減収をきたす。用水不安があるところでは必要以上に水を入れる傾向があるので、さらに局所的な水不足を激化させる。

### (2) 早期栽培

早期栽培は普通栽培より1ヵ月以上栽培時期が早くなるので、普通栽培と適当に配分されるならば農業用水のピークを崩し、他産業との水の分配にも好影響を与える。

ただし両者の作付地が細かく交錯していると、水操作上および周辺への浸透損失が大きくて水の節約は期待ほどにいかない。

早期栽培は台風被害を回避し、根の活力のさかんうちに収穫期に入るので秋落ちが防止され、8月干天による被害を受けない。西南暖地における近年の普及度は昭和33年で17万haに達し、将来は47万haにおよぶものと見込まれている。しかし代がき期が梅雨前になると用水施設の整備されたところか湿田単作地帯でないことと困難である。なお葉水面蒸発の型は普通栽培をずらせたのと異なり、7月、8月に大きくなっていることは表-3に示すとおりである。

溜池利用地帯で毎年満水が早く、普通栽培では無効放流を生じるところも早期栽培では有効となり、4~5月の流量が豊富な河川では早期栽培がその水資源利用にかなっている。ダムの容量を洪水調節に空けておく必要がある場合、水使用時期の早い早期栽培が洪水調節とうま

く両立する。

### (3) 晩期栽培、直播栽培など

晩期栽培はかんがい時期が8~10月となるので、普通栽培の代がき時期用水ピークとは関係ないが、8月の用水ピークと晩期栽培の代がき用水とが一致する欠点がある。機械化農業の進展とともに注目されている直播栽培も、代がき用水は不要であるが、生育後期から多量に用水を使用するので8月干天時の用水ピークに問題がある。

水稻二期作、重複二期作(ある期間一期作の間作に二期作が入る)は普及面積が限られているが、かんがい期間、用水ピーク、用水総量の水資源問題で種々の制約があることを注意しなければならない。

### (4) 間断かんがい、陸田

一般に用水の潤沢な水田はかけ流し、深水などで用水を浪費し、しかも収量の低いことが多い。冷水温地帯では間断かんがいによって地温上昇をはかることが有効であり、また水稻の生理上も間断かんがいの利点が示されている。

用水不足のため1日のうち短時間、あるいは2日、3日に1回かんがいでいるところがあるが、常時土壌が湿っている程度なら生育に支障はない。ただしきれつを生じるほど乾燥してはろう水を助長するので水の節約にならない。

戦後陸田と呼ばれる一種の簡易開田が流行し、随時畑状態にもどせる排水良好の耕地であるので、水稻収量も高くなります。陸田の初年から二、三年までは浸透が大きく、水に制約された間断かんがいを行なわざるをえないが、湛水時間が短いのでろう水は短時間だけであり、しかも根の活力増進に役立っている。

晩期かんがいあるいは節水栽培法として試験されている方法は、代がき後活着するまで約10日間普通にかんがいで、活着後次第に畑状態にして乾き過ぎない程度に水を与え、穂ばらみ頃から湛水するものである。これは総用水量が節約されるが、再湛水する際のピーク用水量が大きくなる。

### (5) 田畑輪換

従来から行なわれてきた田畑輪換は北海道や黒部川流域の冷水温地帯、兵庫、香川の水不足地帯、畑地の少ない北陸の湿田単作地帯、そ菜、花などの消費市場が近い大和平野、中京地帯など小面積である。これに対して水の効率的利用をはかる一方法として洪積台地の大規模な田畑輪換が、飼料作物をとり入れた酪農経営を対象に計画されるようになった。

田畑輪換は水不足対策としてだけでなく、地力の増進、いや地現象の回避、雑草の減少による除草労力の節

約、機械化によって耕作労力の節減されること、水稻および畑作物の増収という効果があり、今後の農地開発、既成田地帯への畜産導入にもっとも期待されるものである。

しかしこれを効率的に実施するためには、区画整理、用排水施設の完備、水利の統制が必要となる。1:1輪作の場合には末端用水路はその片側田区だけに分水し、末端排水路は両側田区から排水を受ける排水型田畑輪換が有利とされている。田畑比率は1:2の場合もあり、また輪換を1年ごとでなく2年、3年ごとに行なうこともある。

水経済上からは、洪積台地の開田は必ず床締して減水深を30mm/day以下にし、畑期間にその床が破壊されないこと、用水路のろう水の少ないことが望まれる。既成田の一部を畑状態にするには排水改良して地下水位の調節が自由になることを理想とする。この場合水田区域の浸透が増大すること、蒸発散による水消費は畑状態でもかなり大きいことを注意する必要がある。

## 5. 畑地かんがいと用水量

### (1) 畑地かんがいの目的と方法

わが国は水利の便があるところのほとんどが水田化され、畑地に対しては小規模のそ菜かんがいが行なわれていた程度であったが、戦後畑地の開発が推進されるようになって、少ない水で効果の大きいと考えられる畑地かんがいが注目されるに至った。

わが国は多雨ではあるがその分布が不均一であり、土壌が浅くて水分保留能力が少ない上、梅雨期に浅く張った根は夏期の干天に対処できず、畑地の干害が案外に多い。

干害を受けやすいところでは耐干性を第一とした栽培法がとられてきたが、かんがい施設をもつことによって多肥、多収を安全に期待できるようになる。

火山山麓などでは比較的水温の高い湧水、渓流水を肥培をかねて冬期かんがいで、そ菜、牧草などの収量を高めているところがある。また土壌改良を主目的として多量のかんがいを行なっているものもある。これらは水田単位用水量の数10倍もかけ流すが、冬期水があまったときなので支障ない。なお夏期高温時のかんがいは、水分補給のほか地温を適当に低下させる効果がある。

凍霜害防止の散水かんがいは2~3mm/hr程度の少ない水を危険温度の続く間絶えず供給するものである。そのほか畑地かんがいは風食防止、塩害防除などにも役立つ。

わが国で一般に行なわれている方法は、畦間かんがいと散水かんがいが主であり、水田式に区分する方法、ボーダー法も注目されている。

畦間かんがいはポンプや配管などの費用が節約される一方、畦間を流すための地均し費、かんがい労力の点で不利であり、浸透損失も生じるので利用できる水量のかんがい効率は 65~70% になる。

散水かんがいは施設費、経常費が高くつくが、浸透損失、地表の不均一によるむらが少なく（かんがい効率 70~80%）、かんがい労力、農作業の機械化の点でも有利である。ただし風の影響を強く受けて効率のひどく落ちることがある。

水田の間断かんがいとあまり区別ない区分灌水法、畦畔内に拡げて越流させるボーダー法は労力の点、水稻の陸栽培、牧草かんがいに便利であるので将来発展するものと思われる。

いずれにしても畑地かんがいは、区画整理された集団的耕地でやることに特に望まれる。

## (2) 畑地かんがいの用水量

畑地かんがいの水量と間断日数は、土壌の浸透、水分保留能力、蒸発散量、根群各部の水分消費型、かんがい効率、作業能率、かんがい施設などを比較検討して求める。このため土層各深さの水分消長を示す図が重要となる。図-1 において ① は圃場容水量（十分給水した後安定して長時間保留できる水分量）、② は作物にしおれの現われるときの水分、①~② は 1 回のかんがい適量である。この水量は砂土で 20~30 mm、火山灰土で 40~50 mm である。

夏期 1 日の畑地蒸発散量は陸稲で 6~7 mm を標準と

するから、30 mm のかんがい水量は 4~5 日もつ。実際には根群の最上部が吸収旺盛で局部的水分欠乏を生じやすいので、間断日数を短縮することが望ましい。しかし作業上からはなるべく 1 回のかんがい水量を多く、間断日数を長くしたい（果樹、飼料作物は 3~5 mm/day の蒸発散量とする）。

かんがい効率を見込んだ実際のかんがい水量は 10 mm/day 程度であるので、30 mm/day を要する水田かんがいに対しては 3 倍のかんがい面積となるが、水資源上から見れば、水田の 20 mm/day 以上におよぶ浸透量は再利用の機会をもつものといえる。また田面有効雨量は畦畔内に蓄えられるので 80% ぐらいを見込めるが、畑地の場合は無効の深部浸透と流出が多いのでかんがい期間の 50% 内外に低下する。

水利施設の規模では、水田の同一かんがい面積に対して、畑地かんがいは短時間ずつ水まわしをするので不利となることはやむをえない。なお水利施設ができて農家はこれを利用しないで降雨を待つ傾向にあり、いよいよしおれが確実になったとき一斉に水をかけたがる。畑作物の価に不安があることも畑地かんがいの普及をおくらせている大きな原因である。しかし飼料、果樹のかんがいは当然さかんになると予想され、かんがい施設をもたない耕地は今後の進んだ農業に不適格であるといえよう。

## 6. 水質、水温と農業用水

### (1) 溶解物質

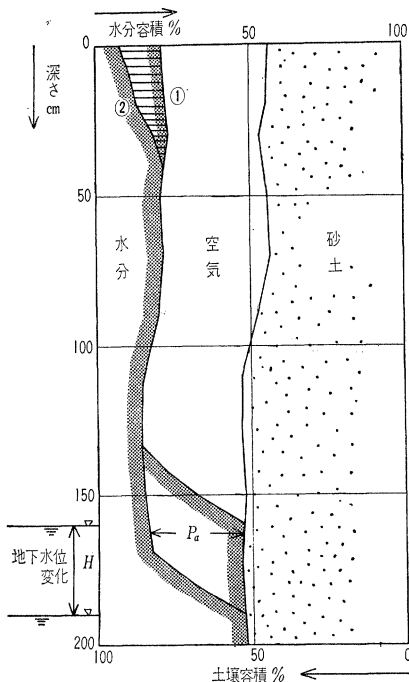
雨水は空気中の  $\text{CO}_2$  や  $\text{O}_2$  を溶解して地表に達し、浸透して地中を流動する間に岩石、土壌を少しずつ溶かして河中へ湧出するので、河水は各種の塩類をふくむ。

河川の水質は、流域の地質に左右され、火山地域は  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  その他各種成分が豊富で、阿蘇白川は  $\text{SiO}_2$  48 mg/l、 $\text{K}_2\text{O}$  6 mg/l に達して標準の 2~3 倍となっている。これらは冬期かんがいに使用して洪積台地や火山山麓の地力増進に役立たせることができる。水成岩地帯およびカコウ岩地帯は少なく、カコウ岩地帯の水稻秋落ちは河水中の養分欠乏がその一因をなすといわれる。わが国の河川は一般に  $\text{SiCl}$  が多く  $\text{Ca}$  の少ないことが特色で、欧米の河川は  $\text{SiO}_2$  2~3 mg/l、 $\text{CaO}$  30 mg/l 程度であるのに対し、わが国では  $\text{SiO}_2$  10~50 mg/l、 $\text{CaO}$  10 mg/l 前後となっている。ただ石灰岩の広く分布する関東の荒川は  $\text{CaO}$  が欧米なみである。 $\text{Cl}$  の多いのは海洋からの潮風の影響ともいわれる。

河川の水質は季節によって変化し、蒸発の多い夏期または渇水時には濃度が高く、豊水期に低くなる。ただし流量の変化ほど濃度の変化は大きくない。

かんがい水中の溶解物質が水田へ肥料分として役立つ

図-1 土層各部の水分変化



効果は大きい。畑地の無肥料栽培はほとんど不可能であるが、水田では長年無肥料でも一定の収量を続けられる。

地下に有機物を埋没したところは窒素分の多い地下水を出すので、諏訪湖沿岸などではこれを利用してきたが、成熟をおくらせる危険がある。

## (2) 水質汚濁と農業用水

農業用水は上水道、工業用水と異なり使用できる水質としてはかなり適応性が広い。何回も反復利用された水、農薬の入った水で支障ないので、河川下流の水を農業に利用するため、揚水かんがいその他の費用を工業方面で負担することにより、上流から取水するよい水を工業用水へまわすことも考えられる。しかし農業用水にとっても不適当の水質はいろいろある。

農業関係で悪水と称していたのは、ただの排水で水質上問題のないのが大部分であるが（排水の再かんがい試験結果に示されている）、泥炭地を流れてきた水、暗きょを出たばかりの水、低湿地のガス井戸からの水を混じたもの、干拓地で何回も反復利用され塩分の濃くなった水は使用しない方がよい。感潮河川の水を利用しているところは渇水時塩害の心配がある。NaCl 濃度は 0.2% 以上になると確実に害を現わすが、0.1% 程度でもかんがいを中断しているうち濃度が大きくなる危険がある。かって海であったところは干天が連続すると下から塩分が上昇するが、新しい干拓地だけでなく古い時代の海底にとじこめられた塩水が現われるところもある。海岸地帯で過度の地下水揚水によって塩分を引きこむ例は周知のとおりである。

鉱工業の有害な廃水が無害な水に混じて、これを使用不可能にすることは水資源の大きな損失である。内陸地域に建設される工場については特に注意しなければならない。都市人口の増加、鉱工業の発展はこの問題を深刻なものにした。その被害面積は昭和 33 年において 10 万 ha に達している。対策としては沈殿池の増設、薬品処理、および廃水専用水路を設けることである。なお渡良瀬川は出水時銅を吸着した浮泥を流して、水田へ入ると害を与えるおそれがあるので、大規模の沈砂池を導水路の頭につけるとともに危険時には地下水だけを取水する集水暗きょが設けられている。

河水中に塩酸や硫酸をふくみ、強い酸性を呈する自然毒水によって被害を受けている水田は 3 万 ha におよんでいる。これは長野、群馬方面から東北地方へかけての火山地域に多い。毒水の pH はその源泉で 3 前後、取水地点でも 5 前後で、そのかんがい区域では作物に直接害を与えるほか硫化水素による秋落ち水田を形成する。対策としてはなるべくガスとして噴出させる。淡水と混合しないうちに分離して沈殿させる。土壌あるいは岩盤

中に浸透させて中和する。石灰を使用する。別に用水源を求めるとか多量の淡水で薄くすることであるが、水資源の利用に影響することの大きい問題である。

## (3) 浮流物質

河水は泥や砂を浮流する。浮流物質は流勢のおだやかな場合に少なく、洪水時には激増し、湖沼あるいは盆地底から流出する部分では浮泥量が低下している。また浸食されやすい軟い地層を流れるとき、地被不良のとき濁り、硬い地層、地被良好なとき澄む。

浮泥は概して肥料分に富んでいるので、これを耕地へ導入し、同時にろう水田の改良、地力の増進に役立てることができる。中国における淤泥かんがい、わが国の流水客土、雪融水のかけ流しなどはこの目的に沿うものである。しかし河川取水に粗粒物質をふくむと有害なので沈砂池を設ける。

なお陶土採取場とか殿粉工場、パルプ工場などの下流では、微細粒子が田面へ沈殿して、作物に物理的の害を与えることがある。阿蘇地方の新しい微細火山灰も同様で、出水で耕地へ流入したとき明らかに有害となる。洪水時にはらん沈積した粗粒子が厚いときは除去する必要もあるが、土壌の老朽化を防ぐ効果も大きいので、試験の上支障がなければ下の耕土と混合する。

ダムの埋積とか、傾斜農地における土壌浸食量の問題などは重要であるが、ここでは省略する。

## (4) 水 温

水田用水は主として低温が問題であり、畑地かんがいはむしろ地温の上昇を調節するので水温についての心配はない。水稻の生育初期は河川の自然水温が大体 20° 以下であり、特に早期栽培では低いので、その上昇をはかる必要がある。ここに 4 月の河川水温は融雪水 5~9°、一般 9~13°、暖地 13~16° であり、5 月はそれぞれが 9~12°、12~18°、15~20°、6 月は 12~17°、17~20° および 20~22° という大体の標準が多くの実測から求められている。生育後期の適温は 30~33° ぐらいであるが、寒高冷地を除くと田面に入った水温は大体この程度になるのが普通であり、暖地では 40° にもおよぶので根のためにはむしろ水温を低下させた方がよい場合が多い。

しかし高山の水源に近い地帯、寒高冷地、雪融水の影響の残る河川、地下水の浸出するところ、発電ダムからの下層水を長いトンネルで導水する場合には、7 月、8 月になっても水温が 15° 内外であるので、温水の努力が必要となる。田面に入って 20~23° 程度の水温の場合は明らかな減収となり、水温 1° の上下収量に大きな影響を与える。

水温上昇のためにはダムからの表層取水、温水池、温水路、床締客土によるろう水防止、水田水口の処理、間

断かんがいなど各種の対策が実行されている。なお地下水、溪流の定温性はわさび田や冬期の保温かんがいに利用される。

## 7. 水資源と農業用水

### (1) 水収支式と広地域用水量

広地域用水量はその地域への地表水流入量  $D_1$  とその地域からの地表水流出量  $D_2$  を測定して求めることができる。

水収支式は

$$P + D_1 = D_2 + W \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $P$ : 降水量、 $W$ : 広地域用水量

$W$  は次のように分解される。

$$W = E + (G_2 - G_1) + 4S \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $E$ : 蒸発散量、 $G_1$ : 上流からこの地域への地下水流入量、 $G_2$ : この地域から下流への地下水流出量、 $4S$ : この地域における水量変化で次のように分解される。

$$4S = H \cdot p_a + M + 4Q \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $H$ : この地域の平均地下水位変化、 $p_a$ : 地下水位変化部分の平均容気率、 $M$ : 土湿変化、 $4Q$ : 地表貯溜水量変化

従来水収支関係は主として地表水を対象に検討された。

しかし洪積台地、扇状地、砂丘、河谷、低平地など新しい堆積層の厚いところでは、土湿、地下水をふくめて水収支を計算しなければならない。広地域用水量も水収支の一部をなすものである。

水収支の変化が激しい出水期間を除けば一般に  $4Q = 0$  であって、次式が一定期間、一定区域を対象に成立する。

$$P = (D_2 - D_1) + E + (G_2 - G_1) + H \cdot p_a + M \dots\dots\dots(4)$$

また

$$G = H \cdot p_a + (G_2 - G_1) \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 $G$ : 地下水補給

(4)、(5) 式は流域をいくつかのブロックにわけて、ブロックごとに水収支を計算する場合であるが、全流域を一つに考えるときは  $D_1$  および  $G_1$  を 0 とすればよい。単位はその区域平均水深  $\text{mm}$ 、あるいは面積を乗じた水量  $\text{m}^3$  で表わす。ブロック面積はどんなに小さくてもよく、一つの井戸が代表する面積にとってもよい。流域の最上流部から順次計算すれば  $G_2$  の絶対量がわかり、あるブロックだけを取り出して計算すれば  $(G_2 - G_1)$  すなわちそのブロックにおける地下水流動量の変化がわかる。ここに  $E$  は既知とする。

地下水位が比較的浅い砂質地では、無降雨時の地下水位低下から (5) 式により  $(G_2 - G_1)$  が求められる。すな

わち  $G = 0$  であるから

$$(G_2 - G_1) = -H \cdot p_a \dots\dots\dots(6)$$

$(G_2 - G_1)$  はそのときの地下水位が高いときほど大きい傾向があるので、 $G = 0$  のときにもこの傾向を適用してすべての時期に  $(G_2 - G_1)$  を確定できる。ゆえに砂質地の  $E$  は計算で求められる。

流域末端からの地下水流動を無視できる山地流域では水収支式が次のように簡単になる。 $4S$  を流域貯溜量の変化とすれば、全域につき

$$P = D + E + 4S \dots\dots\dots(7)$$

$4S$  は 1 年を周期にとればほぼ 0 になるので、(7) 式から計算したわが国各地の年間  $E$  は 600~800  $\text{mm}$  内外となり、蒸発計蒸発量の約 70% に相当する。

扇状地、砂礫質河谷、台地、砂丘地など有力な帯水層のあるところでは (4)、(5) 式を地下水資源の計算に使用できる。なお計算で求めた地下水流動量は、実測した地下水流動断面、地下水勾配、透水度によってチェックすることが望ましい。

次に水収支式による広地域用水量の計算例を示す。

埼玉県中川水系は 5 万 ha に近い水田が展開する低平地であるが、これを 22 ブロックにわけて干天時水田の水収支計算を行なった結果、6 月末~7 月初旬においての水消費量は上位部地域で 9~13  $\text{mm/day}$ 、下部地域で 6~8  $\text{mm/day}$ 、全域では 7  $\text{mm/day}$  となった。上位部で大きいのは浸透水があまり浸出しないで下流へ流動するからであり、下部部では地下水位が高いので、ほとんど地下水流動せずに浸出するからである。ここに当時の蒸発計蒸発量は 6  $\text{mm/day}$  内外(熊谷)であり、また全域の平均取水量は 15  $\text{mm/day}$ 、残水量 8  $\text{mm/day}$  であった。

佐賀平野では水田 11 000 ha に対して水源山地流域がわずかにその 2 倍であり、干天時の河川取水量は平均水深にして 10  $\text{mm/day}$  ぐらいにしかならない。一方この地帯の平均減水深は 15  $\text{mm/day}$  内外にも達している。しかしここでは水田面積の 10% におよぶクリークからの揚水かんがいが発達しているので、水田浸透水はクリークへ現われてよく反復利用され、少ない水でまかなわれてきた。

北上川、追川沿岸の 50  $\text{km}^2$  におよぶ仙北平野中央部 2 000 ha 余の地域につき、広地域用水量調査を行なった結果も、7 月が 7.6  $\text{mm/day}$ 、8 月が 7.4  $\text{mm/day}$  と葉水面蒸発に近い値となった。ここにこの地域の取水量は消費水量の約 3 倍で、地域外へ流出する残水量は消費水量の約 2 倍であった。

### (2) 農業の発展と農業用水、他水利との関連

利根川、江戸川、荒川にかこまれた中川水系の低平地は次のように水使用が増大した。その要因は、河川堤防

の完成による農業生産の安定，地区内排水河川の改修，第一次用排水幹線の改良（昭和 10 年前後），区画整理，暗きょ排水，乾田化にともなう裏作面積の拡大，機械力導入による代がき期間の短縮，第二次用排水幹線の改良，陸田，畑地かんがいの普及などであり，取水量増大を容易にしたのは，水資源問題が現在ほどやかましくなかったこと，利根川河床の上昇により樋管をそのままにして流入量増大ができたこと，用水路が改修されたことによる。

表-5 中川水系における取水量増大の事例

用水名称	かんがい面積 (ha)	年代別取水量 (m <sup>3</sup> /sec)		
		明治大正年代	昭和10年前後	昭和30年以後
見沼代用水	14 000	20~25	30~35	40~45
葛西用水	7 000		12	15~17

この地域では 常時取水量が 90~100 m<sup>3</sup>/sec に達し，反復利用もかなり行なわれているがその約 1/2 が残水として地域外へ流出している。それだからといって地域内部の水利施設を現状のままにして取水量を減少すれば，局部的に極端な水不足を生じる。

信濃川下流地帯は土地改良の進展にともなう用排水量の増大がもっとも顕著なところである。ここでは大河津分水による農業生産の安定，地区内排水河川改修と用排水路改良，区画整理，暗きょ排水，乾田化，第二次用排水幹線改良と，土地改良はますます進展している。かつての水田は，浸透のない湛水状態をなし，河川からの取水量も平均 3~4 mm/day に過ぎなかったが，戦前 12 mm/day 程度となり現在は 30 mm/day 以上におよぶというのがこの地域の大勢である。この取水量は減水深調査の値の 2 倍ぐらいに達しており，用排分離の水路組織で水使用を荒くすれば，このようになることを示すものである。なお低湿地で取水量が多いと，蒸発散量を除く残水がポンボ排水の負担になるので，晴天時に 20~30 mm/day の排水をしなければならない。

以上，低湿地の農業発展にともなう水需要増大の例を示したが，将来水田地帯の大部分が乾田化され，排水路水位，地下水水位が調節されとともに，かんがいも随時自由にでき，田畑輪換が行なわれ，大区画の耕地に機械が入るといった状態を想定して農業用水を考える必要がある。また用水施設のない畑のかかなりの部分にかんがい施設が整備されるようになることは，農家生活の向上をは

かるために当然の方向であろう。その際農業用水は限りなく需用増大をきたすかというに，蒸発散量とかんがい面積に限界がある以上，その消費量の最大は予想できる。

将来の農業用水総量を蒸発散量に近づけるためには，ポンプの利用をできるだけ高めることであり，また浸透水を農業の範囲だけで考えるのではなく，上水道，工業用水の面からも利用することを重視する必要がある。

今後都市周辺では大面積の農地が潰廃するであろう。ここには当然農業用水の余剰を生じるはずであるが，無計画に農地と宅地が交錯したのでは困難であり，それぞれが集団地を形成しなければならぬ。このため低湿地帯などでは，大規模の地盤掘り下げと埋め立てによる宅地造成，掘り跡の貯水利用が考えられる。広い水面をふくむ緑地帯はリクリエーションの場所として好適であろう。なお農業用水は降雨時大きな余裕を生じること，水稲のかんがい期間以外施設がほとんど利用されないことに着目すれば，農業用水路に沿った平地貯水池を都市用水などと共用するという有利な水資源活用法が見出される。

河川からの取水あるいは貯水池の水を長い水路で導水し，下流地域のためただ 1 回使用するより，上流高位部でかんがいに利用し，その浸透水，残水を反復利用する方が有効である。これは河川の全水系を対象とするような広地域にわたるほど，水利慣行にしばられないで実現しやすい。上流高位部における浸透水は地下水資源を増大し，下流の河川流量を涵養する。下流地帯で必要時期にこの水が現われるには，高位部のかんがいが早めに，あるいは年間を通じて行なわれることが望ましい。このため水稲早期栽培，果樹や草，飼料作物などに対するかんがい，冬期かんがいによる土壌改良が有効となる。

高位部の傾斜地，台地では降雨をなるべく浸透させるような流域管理が要請される。水を畦畔内に一時貯溜できるように畑地を区分するとか，田畑輪換地帯を造成することはこの目的に一致するものである。これらの水源涵養地域が大面積宅地化することは，流出を激化して地下水資源を減少させる一因をなす。

水資源と農業用水を問題にする場合には，以上のよう

に他水利との関連をますます重視する必要がある。  
(原稿受付：1961.10.18)