日本における水田用水の水文・水資源学的特性

岡本 雅美*・佐藤 政良**

Some Characteristics of Irrigation for Paddy in Japan
from the Viewpoint of Hydrology and Water Resources Engineering
Masami OKAMOTO and Masayoshi SATHO

Japan is a developed country, which has huge demand of riverflow as source of water supply for cities and industrial factories, but has enormous demand of diversion of riverflow for paddy irrigation. These facts give Japan peculiar characteristics from the hydrological and water resources engineering point of view.

Analysis of records of diversion for paddy shows unit and diversion requirement.

Return flow is discussed in its ratio to diversion and in its direction. Location of a check point for planning and operation of water resources systems in a basin is discussed, and applicability and the cases of application of a author's idea (the Critical Block Method) is introduced.

In Japan, a new water supply requires a reservoir or water transfer to augmentate river flow in a dry spell, since almost all of available riverflow has already been diverted by many existing paddy irrigation systems. Unification of existing and candidate diversion of riverflow and a barrier dam at river mouth are another requirement for new diversion.

A "preference" rule has replaced a "priority" rule in these twenty years in Japan.

Key words: paddy irrigation, CB Method, riverflow requirement at a check point, priority, preference

日本は先進工業国であって、都市や工業の用水需要が多い国だが、大量の水田用水が存在するために、他国に見られない水文・水資源学的特性をもっている。

このような大量の取水を行う水田用水の取水の原単位と絶対量についての実績値の分析結果を示し、かつ、水田用水はかなりの部分が排水されて再び下流に現われるので、その排水先が重要であることを指摘した、つぎに、利水基準地点での確保流量の算定法として、筆者の提案したCB法が流用でき有用であることを明らかにし、さらに、利水基準地点の選定の原則を示し、具体的事例を検討した。

利水的には、その水源とすべき河川水は、既存の水田用水によって取水されつくされている河川が多く、それがpriorityをもっている、新規用水は、貯水池の新設や流域変更のような水源増強と、中下流部での取水体制の整備を必要条件としていることを考察した。しかし一方、実際の管理段階では近年、上水道部門がpreferenceをもつようになっていることを示した。

キーワード：水田用水、CB法、基準地点確保流量、プライオリティー、プレファランス

I. まえがき

世界的に見れば、水田農業より畑地農業が主流であり、かつ、水田水稻栽培農業といっても、灌漑施設を備えた水田よりも、水田の田面に直接降る雨水と、その水田に自動的に流入する雨水の流出だけで水稻を栽培する水田（いわゆる天水田）のほうが、面積的には多い。だが日本では、水田水稻栽培の灌漑率が、ほぼ100%で、ほとん

ど全部の水田が、堰や水路や溜池のような灌漑施設によって、人為的に補給給水されている。

しかも、用水原単位の小さい畑地灌漑の場合とは異なり、日本の水田水稻栽培用水（以下、水田用水という）は、原単位も絶対量も多いから、その必要取水量は、畑地灌漑の場合のように、地下水でまかなうわけにはいかず、河川水（伏流水を含む）の取水に依存している場合がほとんどである。

このように水田用水の取水量の、原単位や絶対量が、きわめて多いうえに、いったん河川から取水された用水

*岩手大学農学部 Fac. of Agri., Iwate Univ.,

**筑波大学農林工学系 Ins. of Agri. and Fore. Eng., Univ. of Tsukuba.,

のかなりの部分が、元の河川や他の河川に再び排水されるので、河川を中心とした自然の水循環を大きく変化させている。

また、これらの水田用水は、都市用水や工業用水に比べて歴史が古く、取水のpriorityが高い。このため、貯水池や取水堰などの水利利用の施設計画や水系の渇水管理を強く規定していて、後発の都市や工業の用水を含む河川利水上も、特殊でかつ重要な地位を占めている。アジア・モンスーン地帯にあって、降雨に恵まれてはいるものの、大量の水田用水の河川水需要が先在している一方、都市と工業の発展にともなう大量の水需要が発生している国は、欧米工業国にもアジアの開発途上国にもなく、その水文・水資源学的考察が、総合的包括的に行われたことはまれであった。

そこで本稿では、このように、河川の水循環に大きな影響を与え、かつ水利利用（の計画や管理）を強く規定している、日本における水田用水の特性を、水文学的、水資源工学的視点から考察してみたい。なお、本稿の考察の対象は、水量の問題に限り、水に混合溶解された物質循環、すなわち水質の問題などは取り扱わないことにする。

II. 用水原単位と河川水需要総量

河川を流下するはずの河川水が、水田用水として取水されると、水循環の経路が代わり、「流域変更」される。そのさい、水田用水は、原単位も絶対量も大きいから、この取水は、本来の自然の水循環に大きな影響を与える。

水田用水の原単位（単位面積の水田あたりの取水量）は、その地域の供給条件（降雨と取水可能な河川流量）と需要条件（第一義的には、灌漑対象水田面積）との相対関係で異なり、各水田用水ごとに、その原単位に大きな差がある。

1975～1979年に農林水産省が行った「農業水利類型化調査」で集められた調査結果を利用して、水田用水の原単位を検討してみよう。この調査では、日本全国の延1,783地区（実数で920地区）の実績取水量が収集され、多変量解析を行うために、各水田用水の、農林水産省で設計した、次のようなアイテムとカテゴリーも、同時に調査された。

アイテム

カテゴリー

灌漑面積 ～50, 50～200, 200～1,000, 1,000～(ha)
地形 山間, 扇状地, 洪積台地, 沖積平野

土性 砂質土, 普通土, 泥炭土,
開発年代 戦前開田, 戦後開田, 1965年以降
基幹施設 建設完了, 未完了
圃場条件 用排水路不備, 一方完備, 両方完備
水利権 慣行, 許可, その他
灌漑方法 田越し掛け流し, それ以外
取水施設 樋門, ポンプ, 取水堰, 溜池, その他

年間を通じて、その需要量が大きく変化しない都市や工業の用水とは異なり、水田用水の需要は、期別水利権の設定に見られるように、灌漑期間中の時期によってかなり変化する。ピーク需要は、一般に、シロカキ田植え期と盛夏（いわゆる普通期ピーク）とに現われる。前者の流量は、作業期間の取り方によって不定であり、本稿の目的には適しない。しかも、多くの水田用水の期別水利権の期別パターンに見られるように、北海道や東北などを除けば、シロカキ田植え期と普通期ピークとでは、河川からの計画取水量に差はない。そこで、本稿では、普通期ピークの実績取水量を分析してみた。

取水量を、1日あたりの水深値（河川からの実績取水量と灌漑面積との比）で示すと、5mm以下の地区から1,000mm以上の地区までであった。5mm～60mmの範囲のものについておさめて、数量化Ⅰ類の方法で解析した結果は、これら水田用水では、平均31.9mm, 重相関係数0.44であった。（岡本雅美, 1980）

この31.9mm/dという値は、1m³/sの河川取水量によって、270ha程度の水田を灌漑していることを意味している。（水田用水の実績原単位の分布は大きいほうに裾を引いた歪んだ形だから、最頻値は約20.6mmである。その場合でも1m³/sの取水で330ha前後しか灌漑できない。）ところで、この取水量1m³/sは、20万人の都市用水の取水量に匹敵する。水田用水の原単位の大きさが分かる。

しかも、水田用水は原単位が大きいだけではない。平野部の、代表的な水田用水の灌漑面積は、数千、数万haに及ぶから、その河川からの取水の絶対量は、何10m³/sにも達する。このように、水田用水によって少なくともいったんは、大量の流量が河川から方向を転じるから、河川の平・低・渇水時の水循環に大きな影響を与える。

ちなみに、日本では、水田用水の水源（取水地点）の流域面積は、灌漑面積の数倍以上必要であるといわれている。火山灰地以外の流域では、100km²の基底流量が1mm/d程度といわれており、多くの年には、灌漑期間中、おおむねその数倍以上の流量が期待できるからであろう。

図一1（新沢嘉芽統・岡本雅美, 1988）に示したように、渇水年（1978年）の利根川の利根大堰地点を例に採れば、水田用水の灌漑期間（5～9月）の渇水時の河川流量は、ダム補給を含めて、たかだか110m³/s程度まで落

ちるのに、取水されて利根川本川には戻らず、流域変更されてしまう水田用水の取水量は、 $60\text{m}^3/\text{s}$ 以上にも達する。利根川のような大河川ですら、このような状況であるから、水田用水の取水が河川流況に及ぼす影響はきわめて大きく、渇水時には、その地点での河川流量の全量を取水している場合も珍しくない。一令をあげれば、鬼怒川の佐貫・勝瓜両頭首工である。(文献7, pp. 212~216)

III. 水田用水の排水量と排水方向

前項で述べたように、水田用水による河川水の転流量はきわめて多いが、水田用水の水循環に及ぼす影響はそれだけにはとどまらない。

河川から取水された水田用水は、その一部が、水稻による蒸散と、水田内の土壌表面や湛水水面からの蒸発によって消費され、他の一部が水田で地下に浸透するものの、それら以外の部分は排水されて、下流の水路や河川に表流水として現われる。いったん地中に浸透したものの、その一部は再び表流水として、下流の水路や河川に現われる。

水田に取水された水が、どれだけ、またどのような経路で下流に再現するのか、あるいは、蒸発散によっていくらか消費されるか、下流河川に再現しないで地下水となってしまう浸透量はいくらであるかといった問題には諸説があり、蒸発散量や水田用水の各種の管理ロスの数値ひとつにしても議論が分かれているのが現状であろう。

したがって定量的な議論はむずかしいものの、水田用水の排水が流入する河川であれば、灌漑期に入ると、非灌漑期(冬期)よりも流量が増えることは、いたるところで容易に観察される。前記の利根大堰で取水された水田用水の、主要な排水先の中川(4排水河川合流後の吉川地点)の流量を例に採れば、冬期の基底流出が $10\text{m}^3/\text{s}$ 程度であるのに対して、灌漑期に入ると、水田地帯からの排水によって、確実に $30\text{m}^3/\text{s}$ 程度に増える。(文献8)

したがって、このような水田地帯からの大量の排水が、どの水路や河川の、どの地点にいつ現われるかが、水文学的にも水資源工学的にも、きわめて重要である。

しかも、そのさい、水田用水からの排水は、取水した水源河川に環流する場合と、他の河川に、流域を変えて排水される場合とがあり、その区別が重要である。

IV. 基準地点需要量と基準地点の位置選定

治水であれ利水であれ、河川の流況計画や管理にあたっては、一般的に、河川のある地点(例えば、利根川

図-1 利根大堰取水状況図

では栗橋、淀川では枚方)を基準地点として、計画や管理が行われる。利水的には、ある基準地点で、その下流の需要量(一般に、取水量と河川維持用水量との合計)を充足するために必要な流量を確保することが目標とされる。

そのさい、2つの問題がある。第1は、その基準地点で確保すべき、基準地点より下流の需要量は、下流の取水量の単純な合計ではないから、それをどのようにして求めるかという問題であり、第2は、基準地点の位置をどこに選ぶかという問題である。

1. 基準地点需要量

以下、簡単のために、ここでの考察では、河川維持流量は無視する。

一般的に、河川のある地点で利水のために確保すべき流量は、その下流の必要取水量の単純な合計ではない。複数の取水があって、上下流の取水地点の間に、支川の流入や、上流の農業用水の排水の還元があれば、それらの上流のある地点で確保しなければならない流量は、この下流流入や還元量だけ少なくすむからである。

いま、このことを簡単に説明すれば、図-2のように、上下流の2つの取水がある場合、それらの上流地点(P_c)で確保すべき流量は、2つの取水量(X_1 , X_2)と、上流側の取水からの排水量(Y_1)と排水地点(P_a か P_d か)によって異なってくる。

これらの条件の組み合わせによって、 P_c 地点における必要確保量がどのように変わるかを、表-1に示した。これに支川の途中流入が加わったり、取水が2カ所以上に増えても、基本的な概念的な関係は変わらない。

このような、排水の元の川への還元や流域変更や、その再利用の関係などを考慮して、地区内で再利用が行われている複雑な排水系統をもつ水田用水の、ある取水堰における、河川からの計画必要取水量の普通期ピーク量の算定法として、筆者らはかつて、「CB法」(Critical

図－2 確保流量概念図

表－1 諸条件下と必要確保流量との関係

排水地点	条 件	必要確保流量	1	2
P_u	$Y_1 > X_2$	X_1	CB	NB
	$Y_1 < X_2$	$(X_1 - Y_1) + X_2$	RB	CB
P_a		$X_1 + X_2$	CB	CB

Block Method)と名づけた方法を提案したが、この方法は、水田用水の必要量の算定だけでなく、河川の基準地点における確保流量を計画するさいにも、そのまま流用できるので例示しておく。表－1の最右欄には、取排水の各单位ブロック(図－2の1, 2)の、確保流量への寄与の性格に基づく分類を示すために、CB法のなかで筆者らが与えた、各ブロックの名称が記されている。(ただし、本稿では煩を避けるためにDBと呼ばれるブロックについては述べない。)(岡本雅美1973)

2. 基準地点の位置選定

洪水(高水)の場合であれば、基準地点は支川の合流後で流量が極大になる地点、例えば栗橋や枚方におけばよい。だが、利水の基準地点は、当該地点により下流の河川取水量の合計が極大になる地点を選ばなければならない。したがって、一般的には、治水と利水の基準地点の位置は一致しない。ただ、実際には、一致することが

多い。

例えば、淀川では、枚方地点を治水・利水共通の基準地点として採用できる。その下流には、流入がなく、排水の還元再利用もないとしてよいからである。この場合、枚方地点の確保流量は、左右両岸の水田用水と、柴島の下水道や工業用水の取水量などとの算術和である。

木曽川では、今渡地点を治水・利水共通の基準地点にできる。この場合も、その下流には、流入がなく、排水の還元再利用もないからである。今渡地点の確保流量は、犬山頭首工、愛知用水、名古屋市下水道など、今渡下流の農業用水と上工水の取水量の算術和である。

しかし、利根川の治水基準地点(のひとつ)である栗橋地点は、筆者らが指摘したように、利水基準地点としては好ましくない。すなわち、この場合には、上流側の利根大堰と、下流側の関宿地点(利根川本川下流部と江戸川との分岐点)との間に渡良瀬・思川水系が支川流入しており、さらに、利根川下流部では水田用水の排水還元再利用も行われており、栗橋地点での必要確保流量は、栗橋下流の取水の算術和より少ないからである。したがって、この場合は、利根大堰に利水の(管理)基準地点を設けなければならない。このように治水・利水の基準地点は、ずれる場合があるので、注意を要する。

なお、利根川では、複数の利水基準地点が必要である。(新沢嘉芽統・岡本雅美1988)

この利水の基準地点に関連する考察を補足しておく。

まず、新規取水のための貯水池必要量の算定の前提となる基準地点からの既往流量記録には、既存の水田用水や都市からの排水還元量がすでに含まれていることを指摘しておく。

つぎに、上流ダムからの渇水補給量は、計画時には、既往流量記録に基づいて算出されるが、実際の操作・管理のさいには、貯水池から取水地点までのダム放流の到達時間を要するのに、貯水池より下流で、かつ、取水地点の上流での支川流入量は、正確には予測できず、ダム放流は利水上、安全側に放流されるから、結果として不要な放流を行わざるをえないことである。(ただし、取水地点に十分な容量の調整池があれば、この不要な放流はしなくてすむ。この点の詳細については、文献7, pp. 170～212を参照されたい。)

V. 河川渇水量の利用度と新規取水

1. 河川渇水の利用度と新規取水の必要条件

日本では、ほとんどの河川で、夏期(水田用水の需要期)の渇水時の河川流量は、既存の水田用水によって取水されつくされているといっても過言ではない。(熊野川

のように、河川流量に比べて、水田として利用できる平地が狭い河川は例外であるが。)

渇水年以外なら、たいていの年には取水できる流量(平・低水量)で灌漑できる限度まで、開田を進め、渇水に見まわられて河川水源が十分でなかったことに気づかされても、灌漑面積を減らすことによってではなく、流域変更や溜池の築造によって水源を増強し、さらに、平水や豊水の年が続くと、再びそれに見あって開田を進めて灌漑面積を拡大し、また、渇水に出あって水源不足を思いしらされて水源を増強し・・・といったラセン階段的な開田と新水源の開発の結果である。

この事実は、その後、都市用水などが新規に取水しようとするれば、少なくとも水田用水の取水期間には、渇水時には貯水池からの補給や余裕のある他の流域からの転流によって、その新規取水量を確保する必要があることを意味する。いいかえれば、日本の多くの河川では、取水池の新設や流域変更を行わないかぎり、新規取水はできない。このことはわざわざ例証するまでもないであろう。

付言すると、都市や工業の用水のみならず、水田や畑地の農業用水であっても、新規のものは、同様に貯水池の新設や流域変更による水源増強が不可欠である。

なお、河川水のように確率的に変動する資源を対象にして、取水可能量の議論をするには、その確率(安全度)を、併せて評価しなければならない。周知のように、現在、農業用水や上工水部門では、いわゆる10年渇水年を、計画策定の前提としている。江戸時代などの水田用水の安全度については、文献3:荻野芳彦・岡本雅美(1990 予定)を参照されたい。

2. 中下流部の取水体制の整備の必要性

日本では都市用水や工業用水の新規需要は、その立地位置から、河川の中下流部で発生することが多い。このような新規の上工水の取水を確実に行うためには、上流部での貯水池の新設だけでなく、取水施設を統合する「合口」や河口堰の設置などのような中下流部の水利施設の整備や、協議と管理の組織作りが不可欠である。この問題は、文献5と文献7第3章で、詳細に研究されている。

3. 社会水文的渇水

かつてIHDが、利水的に見て確実性や安定性の高い、取水可能な河川流量の、各国の比較を行うプロジェクトを実施した。この流量の述語は、当時、日本では「渇水」と訳されていたが、英語では、minimum flowであった。

貯水池などによる渇水補給によって流量調節を行わないかぎり、絶対的に少ない流量が、利水の利用可能流量であるからである。したがって、このminimum flowの発生する時期こそが、水不足の発生しやすい時期である

ということが、含意されていたようである。

しかし、社会水文的に、新規にこれから取水可能という以上、既存の取水を前提条件としなくてはならないはずだから、自然水文的に、河川の流量が絶対的に少ない時期が、そのまま、今後の取水可能量が少なく、また、水不足の発生の危険性が大きい時期であるとはいえない。

日本の河川では、一般的に、冬期より夏期のほうが流量が多い。すなわち、自然水文的な意味での渇水は、冬期に出現する。

だか、夏期に大量の水田用水の取水が行われる日本では、よく知られているように、農業や都市の水不足は、通常、夏期に発生する。IHD風に表現すれば、日本では、自然水文的な渇水は、ほとんど冬期に出現するが、社会水文的には夏期(水田灌漑期)に出現する。これが、水不足が雨期ではなくて乾期に発生する多くの国と、日本とが異なる点であり、水田用水の大量需要が、その原因である。

だから、日本では、冬期に若干の水不足が発生しても、前述の夏期渇水補給用の貯水池があれば、その貯水池の容量を繰り返し利用することで必要な流量補給が可能であり、別途、新たに貯水池を新設する必要は、一般的にはない。一例をあげれば、文献6に述べた利根川の事例である。

なお、本稿の性格上、小河内、下久保のような経年貯留ダムや、筑後導水以前の、1978年の福岡地域や、近年も頻発している愛知県豊川用水地区のように、水不足が、冬期に発生する場合の問題は、本稿ではとりあげていない。

VI. priority and preference

前述したように、既存の水田用水は、河川の水利用としては、先在してたから、日本でも、水法の理念にしたがって、priorityをもっている。後発の取水は、計画基準年の想定流況という条件下ではあるが、既存の取水の権利を侵害することは許されない。(農業の用語でいえば、古田優先である。この古田優先の原則が、ある社会的条件が加われば新旧の差が消えて平等となったり、河川水は、その量の変動する資源であるために、渇水時にはきわめてしばしば上流有利に取水されたりすることは、水資源工学の常識に属する。)

計画段階では、このpriorityは貫徹しており、そのために多くの場合に、新規都市用水が貯水池の建設を余儀なくされることは、前述のとおりである。

しかし、日本では、近年、実際の河川の流域利水管理を見ると、水不足のさいには、都市の上水道部門が、い

わゆるpreferenceをもつようになってきている。1978年の、同率取水制限がなされた利根川（文献7）や、先在水田用水が後発の上水道より高率の取水制限を行った矢作川が、その代表事例である。なお、米国でもこのような傾向が見られる。（文献4）

VII. あとがき

先進工業国ではまれな、大量の水田用水の河川水需要の存在が、水文・水資源学的に、日本の河川で、いかなる特性をもち、どのような影響を及ぼしているかを、実例について考察した。このような本稿の視点と研究は、ほとんどすべて、恩師の新沢嘉芽統教授に負っている。記して改めて深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 岡本雅美：水田農業用水の計画需要量の推定法，水利科学，**91**，pp. 54～65（1973）
- 2) 岡本雅美：昭和54年度農業水利機構類型化調査報告書，pp. 5～123，日本農業土木総合研究所（1980）
- 3) 荻野芳彦・岡本雅美：日本の平地溜池灌漑システムの利水的安全度の評定（投稿中），農土論文集（1990 予定）
- 4) 荻野芳彦・岡本雅美：Institutional aspects of riverflow management in U.S.A. and Japan for technology transfer to developing countries（投稿中），農土英文誌（1990 予定）
- 5) 新沢嘉芽統：河川水利調整論，pp. 352～440，岩波書店（1962）
- 6) 新沢嘉芽統：水利の開発と調整（上巻），p. 491，時潮社（1978）
- 7) 新沢嘉芽統・岡本雅美：利根川の水利（増補版），p. 203，岩波書店（1988）
- 8) 同上，p. 230

（1989.9.4 受付，1990.1.11 受理）