

<論 文 (原著) >

## 加古川流域での水資源開発に伴う河川の流況と 海域へ流入する河川流量の変化

大島 巖\*

### Influence on the River Flow Regime and the River Flow to the Sea by Development of Water Resources at the Kako River Basin.

Iwao Ohshima

\* Water resource study group, Kouenji-kita 1-27-8-301, Suginami-ku, Tokyo 166-0002, Japan

#### Abstract

The Kako River is the longest first class river in Hyogo Prefecture. The Kako River weir started operating in 1989, and the weir and the dams of upper and middle reaches of the weir started operating integrally in 1992. This study tried to quantify the change of river flow regime and the decrease of river flow to the sea by development of water resources at the Kako River basin. The study found the following two results after integrally operating start of the Kako River weir and the dams: 1) the 95-day and 185-day discharge at Kunikane decreased significantly; and 2) the river flow from the Kako River mouth to the sea decreased by 20.5% per year under the mean precipitation. It was thought that it is important to evaluate the influence of the estuary environment by the results of seawater quality and estuary simulation model in future.

**Key words** : Development of water resources, Kako river basin, Kako river weir, decrease of river flow

### 1. はじめに

加古川は兵庫県で最大の流域面積 1,730km<sup>2</sup>を有する一級河川であり、我が国の多くの河川と同様に治水対策を兼ねた水資源開発が積極的に進められてきた。加古川の上流域の降水量は 1,600mm y<sup>-1</sup>であり、国内平均の 1,690mm y<sup>-1</sup>と同程度であるが、中流・下流域は 1,200mm y<sup>-1</sup>と少ない<sup>1), 2)</sup>。このために、加古川での水資源開発を進める際には、河川水の利用はほとんどが慣行的水利権で占められていたことから、新しくダムや河口堰を建設し、そこに貯留した水量で渇水時の流量を増加させて新規の水利権が確保されてきた<sup>1), 3)</sup>。加古川流域においてはこれまでに 20 を超えるダムが建設され、下流域では加古川大堰の運用が 1989 年から開始され (Fig. 1), 1992 年からはその上流・中流域に建設された多くのダムと連携して大堰の本格的な運用が始まった (以下、本格運用と言う)。

多くの河川ではダム・河口堰の建設によって河川環境への問題が顕在化し、河川流量の変化、栄養塩のトラップ及び輸送量の変化等が引き起こされてきた。栄養塩のトラップについてはダム湖を対象に定量的に評価した事例が幾つか見られるが<sup>4), 5)</sup>、河川流量の変化については定性的な報告にとどまっている<sup>4), 6)</sup>。そこで、本研究では、加古川の水資源開発の一環である加古川大堰の本格運用の時期を境にして、本格運用前と本格運用後の期間に分け、流量観測基準点である国包地点の流況の変化と加古川河口から海域へ直接流入する河川流量の変化を定量的に評価することを目的とした。

---

\* 水資源を考える会 〒166-0002 東京都杉並区高円寺北 1-27-8-301

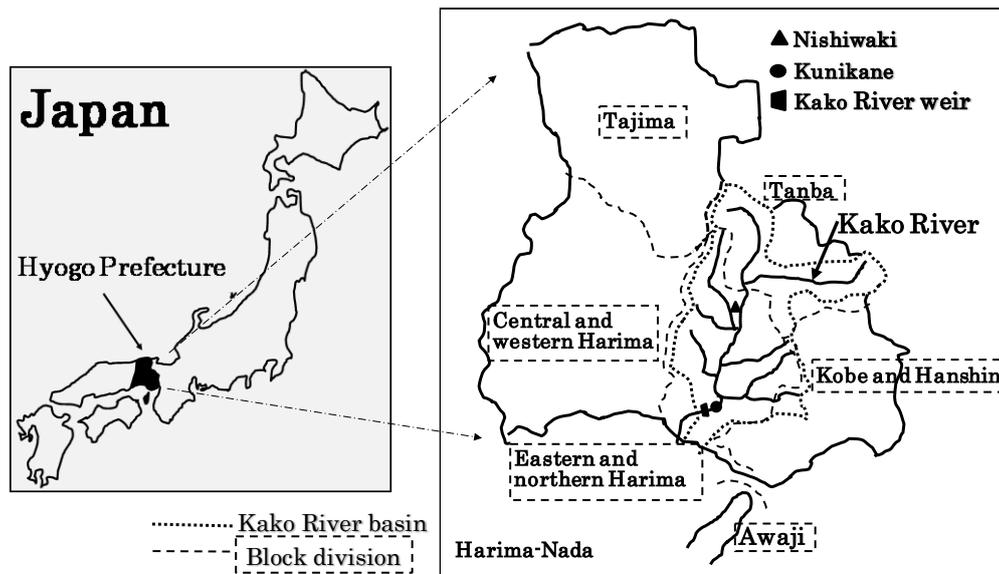


Fig. 1 Block division of Hyogo Prefecture, the map of the Kako River basin, the Kako River and the Kako River weir.

## 2. 材料と方法

### 2.1 加古川流域及び加古川大堰近傍での水利用状況の整理

ひょうご水ビジョン<sup>7)</sup>及び加古川大堰定期報告書<sup>1)</sup>をもとに、加古川流域及び加古川大堰近傍での水利用状況を整理する。

### 2.2 加古川大堰運用に係る水資源開発の推移の整理

加古川大堰と連携して水資源の開発・管理が行われている国営加古川水系広域農業水利施設総合管理事業と兵庫県の工業用水事業について、これらの事業に伴って建設された計7つのダムの最大取水量 (Max water intake) と有効貯水量 (Effective capacity) を整理して取りまとめる。

また、大堰の運用が開始された1989年から1992年にかけて大堰湛水域からの年間取水量の実績値が大きく増加しており、1992年の年間取水量 ( $1.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ ) はそれ以降の年間取水量の実績値の平均に近い<sup>1)</sup>ことから、加古川大堰の本格運用は1992年であると判断した。実際、後述するように上記の7つのダムの竣工に伴うダムからの最大取水量の積算量は、1991年から1992年にかけて大きく増加している。

### 2.3 加古川の流量と流況の整理

加古川の流量については、大堰運用前は水文水質データベース (国土交通省) による河口から14.2kmに位置する国包地点 (Fig. 1) での日平均流量を、大堰運用後は同データベース下のダム諸量データベースによる大堰湛水域への流入量の日平均値を用いる。後者の流量は、国包地点より上流地点での流量、大堰湛水域での水位変化、大堰湛水域からの放流量をもとにして算定されたものであり、大堰運用前の国包地点での流量に該当するものである。

ここで、河川の流量については、1年間の流量の変化の様子や水量の豊かさを示す指標として通常用いられている以下の流量に分けて整理する。365日分の流量を大きい順に並べて、95番目を豊水流量 (95-day discharge), 185番目を平水流量 (185-day discharge), 275番目を低水流量 (275-day discharge), 355番目を渇水流量 (355-day discharge) (いずれも日平均流量) として整理するが、これらは加古川大堰定期報告書<sup>1)</sup>と水文水質データベースの値を用いる。

### 2.4 加古川から海域へ直接流入する河川流量の算出

加古川から海域へ直接流入する河川流量は、加古川大堰の本格運用前と本格運用後に分けて算出する。本格運用後については、大堰からの放流量から、大堰湛水域からの取水量と大堰下流での取水量を差し引いて

算出する。ここで、各取水量は大堰湛水域及び大堰下流での各用水の年間取水量の実績値<sup>1)</sup>を用いる。生活用水と工業用水は年間一定とみなし、農業用水は各用水の期別（かんがい期、非かんがい期等）の最大取水量<sup>1)</sup>に比例して取水されるとみなして、年間実績値から日々の取水量を算出する。期間は大堰湛水域への流入量と大堰からの放流量が公表されている1993年～2011年とし、計算の際に海域へ直接流入する河川流量が $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 以下となった場合は、河口部での維持流量 $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ が確保されている<sup>1)</sup>とみなして $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ とする。

また、本格運用前については、国包地点での流量から、大堰建設地点近傍での取水量と大堰下流での取水量を差し引いて算出するが、この期間の各取水量の実績値を入手できなかったため、本格運用直後の平均的な取水量である1993年の年間取水量( $1.46\times 10^8\text{m}^3$ )を用いることとする。ただし、大堰の運用に伴って新規に開発された加古川市の生活用水( $0.46\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )は取水量に含めないこととする。期間は国包地点での流量が公表されている1974年～1985年とし、計算の際に海域へ直接流入する河川流量がマイナスとなった場合は $0.0\text{m}^3\text{s}^{-1}$ とする。ここで、上記で得られた日々の河川流量を1年間積算して年間の河川流量とする。

### 3. 結果

#### 3.1 加古川流域及び加古川大堰近傍での水利用状況

ひょうご水ビジョン<sup>7)</sup>をもとに、兵庫県の2012年の水利用状況を6地域に分けて整理した(Table 1, Fig. 1)。東・北播磨地域と丹波地域を加古川流域とみなすと、上流域では主に農業用水として、中流・下流域では近畿農政局の国営加古川水系広域農業水利施設総合管理事業等による生活用水・工業用水・農業用水として、また兵庫県企業庁による加古川流域内外市町村への生活用水及び沿岸域の播磨臨海工業地帯への工業用水として多岐にわたって利用されている。加古川流域の年間の水利用量は、生活用水で $1.3\times 10^8\text{m}^3$ 、工業用水で $1.5\times 10^8\text{m}^3$ （新規補給分、以下同じ）、農業用水で $8.3\times 10^8\text{m}^3$ であり、農業用水が最も多く、生活用水と工業用水がその16～18%となっている。降水量から蒸発散量を差し引いた水資源賦存量に対して、生活用水・工業用水・農業用水を合計した水利用量の比率（水利用率）は58%となり、県全体でも40%と国内平均である20%の2倍の水利用率であり、国内平均より少ない降水量を高度に利用していることが伺える。

**Table 1.** Precipitation, water storage, amount of daily life water, amount of industrial water, amount of agricultural water and ratio of using water (using water shows total amount of daily life, industrial and agricultural water) at each block in Hyogo Prefecture.

Block division	①Precipitation (Annual average over 30 years)	②Water storage	③Daily life water	④Industrial water	⑤Agricultural water	Ratio of using water ((③+④+⑤)/②)
	100 million $\text{m}^3\text{y}^{-1}$	100 million $\text{m}^3\text{y}^{-1}$	100 million $\text{m}^3\text{y}^{-1}$	100 million $\text{m}^3\text{y}^{-1}$	100 million $\text{m}^3\text{y}^{-1}$	%
Kobe and Hanshin	14.8	9.5	4.0	1.1	2.1	30
Eastern and northern Harima	17.0	10.9	1.2	1.4	5.6	75
Central and western Harima	29.0	18.6	1.1	1.7	4.7	40
Tajima	43.0	27.5	0.3	0.1	2.8	11
Tanba	13.0	8.3	0.1	0.1	2.7	35
Awaji	8.4	5.4	0.2	0.0	2.7	54
Hyogo Pref.	125.2	80.1	6.9	4.4	20.6	40
Japan	6400.0	4100.0	151.0	115.0	539.0	20

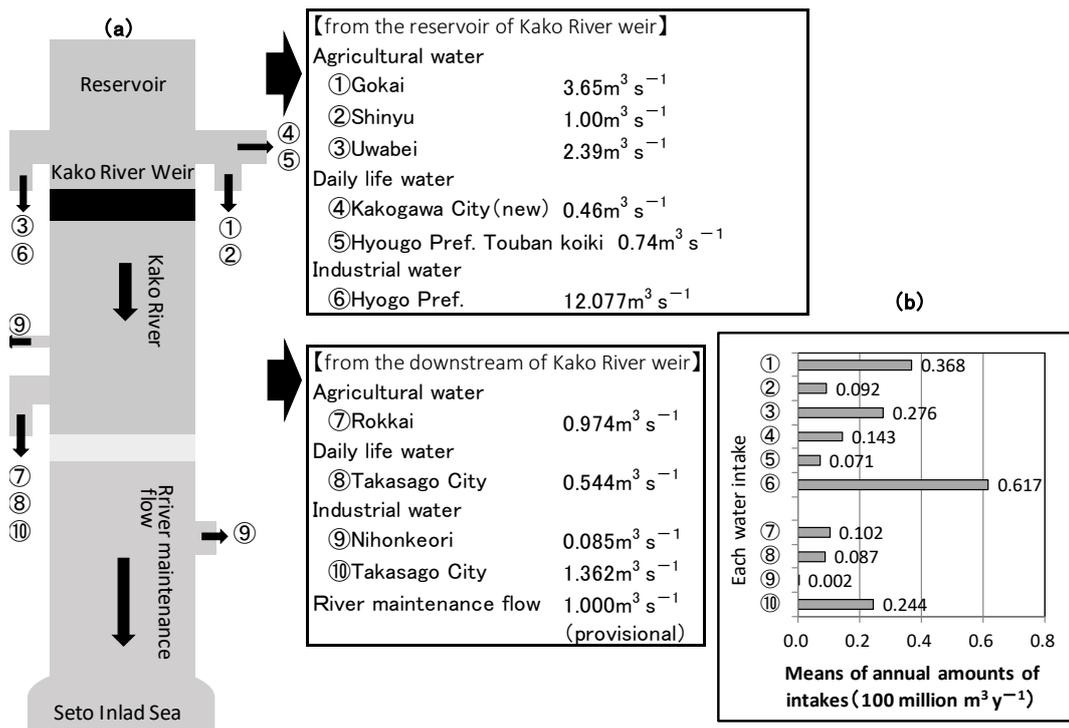
1) Values of Hyogo Prefecture show those on 2012 from Hyogo Prefecture<sup>7)</sup>.

2) Kobe and Hanshin gets its supplies of 280 million  $\text{m}^3$  water from Yodo River.

3) Water storages show values of deducted evaporations from precipitations.

Water storage of Hyogo Prefecture shows that of calculated from the ratio of water storage and precipitation in Japan.

4) Values of Japan show those on 2012 from Ministry of Land, Infrastructure and Transport<sup>2)</sup>.



**Fig. 2** Schematic view of permitted water intakes near the Kako River weir. Figure (a) shows amounts of each permitted water intakes and figure (b) shows means of annual amounts of intakes of 5 years from 2007 to 2011.

また、大堰堰水域及び大堰下流での各用水の水利権の模式図と、各用水の2007年～2011年の5年間の実績取水量<sup>1)</sup>の年平均値を算出して**Fig. 2**に示す。個々の水利権としては、大堰堰水域からの兵庫県工業用水が $12.077\text{m}^3\text{s}^{-1}$ と最大であり、5年間の実績取水量の年平均値を用水区分ごとに足し合わせると、生活用水で $0.30 \times 10^8\text{m}^3$ 、工業用水で $0.86 \times 10^8\text{m}^3$ 、農業用水で $0.84 \times 10^8\text{m}^3$ となる。従って、加古川大堰の本格運用とそれに伴う大堰下流での水利用量は、加古川流域全体での水利用量(**Table 1**の2012年時点)に対して、生活用水で23%、工業用水で57%、農業用水で10%を供給する役割を果たしていると言える。ここで、**Table 1**の日本全国及び兵庫県の各水利用量には、一部地下水の利用が含まれていることから、河川水の利用のみで比較した場合にはこれらの割合は幾分高くなるものと考えられる。

**3.2 加古川大堰運用に係る水資源開発の推移**

加古川大堰は、治水対策、下流の複数の取水堰の統合による水資源の合理的活用、上流・中流域に建設したダム貯留水による既存用水の安定供給、臨海部での水需要並びに地下水水位低下・塩分混入に対処するための工業用水の供給、新規に加古川市の生活用水の開発( $0.46\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )を行うものである<sup>1), 8)</sup>。

ここでは、加古川大堰と連携して水資源の管理が図られている7つのダムについて、各ダムの最大取水量とその積算量の推移、有効貯水量の積算量の推移を**Fig. 3**に示した。

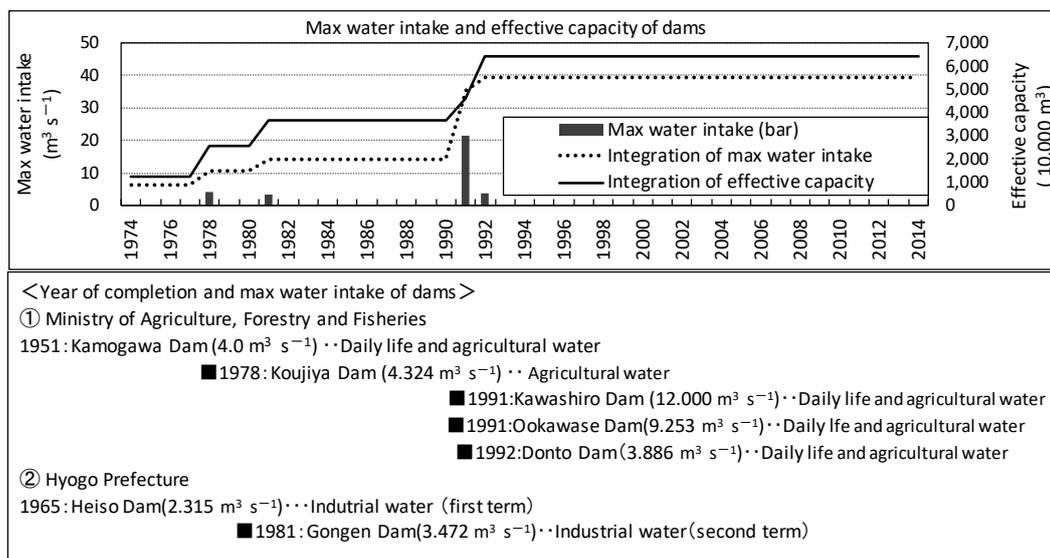
その結果、加古川大堰の本格運用後には、最大取水量及び有効貯水量の積算量が大きく増加している。1991年から1992年にかけて最大取水量は約 $25\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 増加し、その後の積算量は約 $39\text{m}^3\text{s}^{-1}$ となっている。

**3.3 加古川の流況の変化**

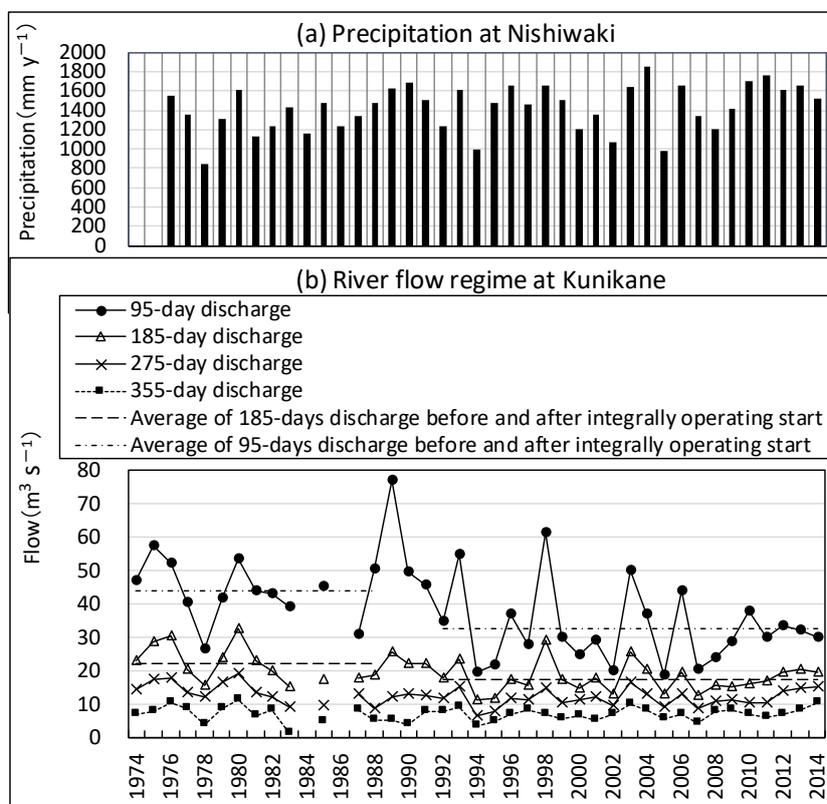
加古川の流況の変化については、大堰運用前は堰直上の国包地点での流量、大堰運用後は大堰堰水域への流入量(以下、国包地点近傍の流量と言う)を用いて整理された値<sup>1)</sup>と水文水質データベースの値を用いて、本格運用前(1974年～1988年)と本格運用後(1992年～2014年)に分けて比較した(**Fig. 4**)。

その結果、豊水流量と平水流量の本格運用前後での平均値を比較すると、それぞれ有意水準5%で有意差がみられた(エクセルでのt検定)。豊水流量の本格運用前の平均は $44.12\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 、本格運用後は $32.66\text{m}^3\text{s}^{-1}$

であり、平水流量の本格運用前の平均は  $22.20\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ 、本格運用後は  $17.70\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  であった。従って、本格運用後には豊水流量は 26.0%減少し、平水流量は 20.3%減少していた。低水流量と濁水流量では有意差は認められなかった。



**Fig. 3** Transitions of max water intakes and effective capacities of each dam operating integrally with the Kako River weir. The bars show max water intakes; the broken line the integration of max water intakes; the solid line the integration of effective capacities. Max water intakes show maximum amounts of water intakes during a year with the completion of dams.



**Fig. 4** Upper figure shows change of the precipitation at Nishiwaki in the central part of the Kako River basin. Lower figure shows the river flow regime of river flows at Kunikane (1974-1988) and that of inflows to the reservoir of the Kako River weir (1992-2014).

### 3.4 加古川から海域へ直接流入する河川流量の変化

加古川から海域へ直接流入する河川流量について、本格運用前後に分け、加古川中流域のアメダスの観測地点である西脇地点での年間降水量が近い年を選定して比較した。図には示していないが、西脇地点の平均降水量（1996年～2015年の平均の1,500mm y<sup>-1</sup>）より少ない本格運用前の1981年（1,130mm y<sup>-1</sup>）と本格運用後の2008年（1,203mm y<sup>-1</sup>）を比較すると、1981年の河川流量は11.0×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>であり、6月～9月に河川流量が0.0m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>となる水枯れが15日間発生している。これに対して、2008年の河川流量は6.0×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>であり、1981年と比較して半減しているが、水枯れが解消されて25日間は維持流量の1.0m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>となっている。

また、異常渇水年である本格運用後の1994年（989mm y<sup>-1</sup>）をみると、海域へ直接流入する河川流量は4.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>と少なく、水枯れは解消されているが、149日間は維持流量の1.0m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>となっている。特に7月～12月の河川流量は0.8×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>と少ない。同程度の降水量である本格運用前の1978年（965mm y<sup>-1</sup>）をみると、海域へ直接流入する河川流量は8.5×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>、7月～12月の河川流量は2.2×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>であり、1978年に対して1994年はそれぞれ約1/2と約1/3になっている（Fig. 5）。

さらに、本格運用前後に分けて、西脇地点での年間降水量と加古川から海域へ直接流入する年間河川流量の線形回帰式を求めた（Fig. 6）。ここで、西脇地点の1976年～1979年の12月～2月の降水量が欠測であるので、1981年～1990年の同地点の各月の平均値を当てはめて年間降水量を算出した。この2つの線形回帰式については、オンラインRweb<sup>9)</sup>を用いて回帰係数の有意性を検定したところ、1%の有意水準で有意であった。

この回帰式を用いて、西脇地点での平均降水量（1,500mm y<sup>-1</sup>）の時に本格運用前後で海域へ直接流入する河川流量の違いを比較すると、本格運用前に14.71×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>、本格運用後に11.69×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>となり、本格運用後には3.02×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> y<sup>-1</sup>（20.5%）減少していた。この減少の割合は、降水量が少なくなると大きくなり、降水量が1,000mm y<sup>-1</sup>の渇水年には50%となる。

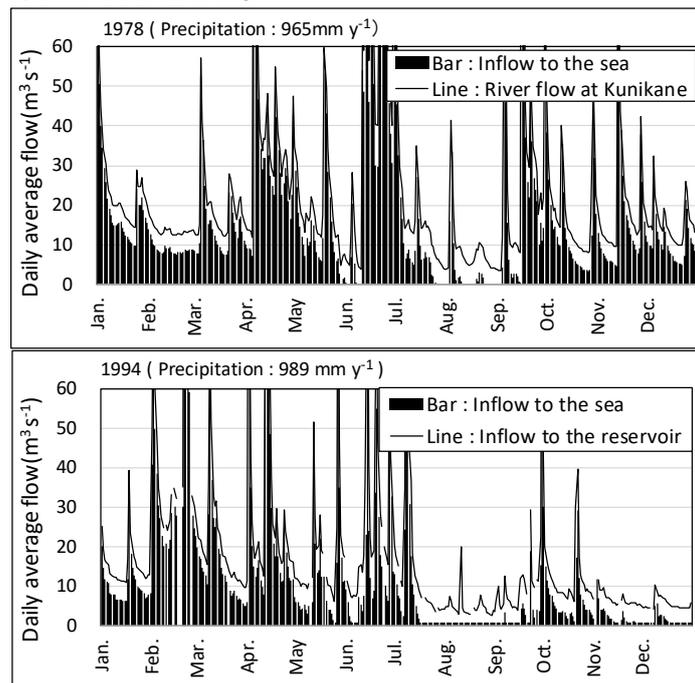


Fig. 5 Upper figure shows comparison of river flows at Kunikane and inflows from the river mouth to the sea in 1978 before integrally operating start. Lower figure shows comparison of inflows to the reservoir of the Kako River weir and inflows to the sea in 1994 after integrally operating start.

## 4. 考察

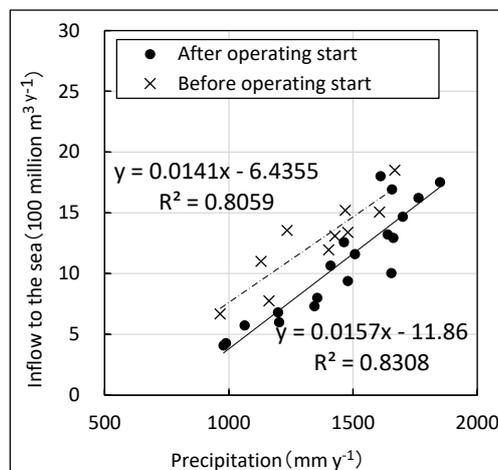
### 4.1 河川流量に変化を及ぼす水資源開発等について

瀬戸内海の T-N・T-P 濃度について、沖合域では減少していないが沿岸域では減少を続けており<sup>10)</sup>、その要因の1つとして、ダム建設による河川流量の減少で河口循環流が弱体化し、栄養物質が沖合へ広がりにく

なくなったのではないかとされている<sup>6)</sup>。この報告も含めて、著者が得た知見から河川流量に変化を及ぼす水資源開発等について整理した。ここで、水資源開発等の等は治水対策を示す。

- ① ダム・河口堰を含む貯水・取水施設の建設及び施設の運用によって、河川流量が平準化される<sup>4)</sup>、<sup>11)</sup>。また、ダムの建設によって河川流量が減少する<sup>6)</sup>。
- ② ダム・河口堰等から取水した生活用水が沿岸部に立地する下水処理場から、また工業用水が沿岸部に立地する工場から、さらに農業用水は3割強が蒸発散等によって失われた後<sup>12)</sup>、排水された水が排水路等から直接沿岸域へ排出される。
- ③ ダム等から取水した用水が水系を越えて別の水系へ供給される。
- ④ 地盤沈下防止・塩害防止のために、工業用水・農業用水を地下水から河川水に切り替える<sup>2)</sup>、<sup>8)</sup>。
- ⑤ 治水対策によって雨水が下水処理場や雨水管を通して直接沿岸域へ排出される。

上記であげた内容は、水資源開発と一部でそれ以外のものも含まれているが、以下、これらを含めて水資源開発と言うこととする。



**Fig. 6** Relationship between precipitations at Nishiwaki and inflows from the Kako River mouth to the sea.

Precipitations and inflows show annual amounts of daily data. ● : after integrally operating start of the Kako River weir. × : before integrally operating start.

#### 4.2 水資源開発による河川流量の変化

加古川大堰の本格運用後に、加古川の国包地点近傍の流況は、豊水流量で26.0%、平水流量で20.3%減少していた。また、加古川から海域へ直接流入する河川流量は、流域の平均降水量の時には年間で20.5%減少していた。これらの河川流量の減少の1つの要因として、降水量の変化が考えられるが、流域の西脇地点での降水量には長期的な変化が見られないこと (Fig. 4)、姫路測候所での本格運用前後の期間の年間降水量の平均値でもその差は数%と小さいことから、河川流量の減少は降水量の違いによるものではないと言える。

加古川での河川水の利用は河川管理者である国及び県によって一元的に管理されていることから、本格運用後の河川流量の減少は、主に流域での河川水の利用量の変化、即ち、ダムや河口堰等の建設・運用に伴う水資源開発が大きく関わっていると考えることに矛盾はないであろう。

ここで、加古川流域の水資源開発による水利用量の変化について検討することで、本格運用後の河川流量の減少要因について検討した。加古川流域全体では、2016年時点で25のダム(ダムネットから抽出した23に川代ダムと平壮第4ダムを加えた)が建設されているが、本格運用後に建設されたダムは篠山市のみくまりダム(有効貯水量  $3.4 \times 10^5 \text{m}^3$  と小規模)のみである。従って、本格運用後には大規模な水資源開発は行われていないものと考えられる。

加古川流域に位置する市町の人口は、1970年の約50万人から次第に増加して2005年に約97万人とピークに近い人口となり、2012年以降減少に転じている<sup>1)</sup>。対象範囲が広域となってしまうが、加古川流域を含む近畿臨海(大阪府、兵庫県、和歌山県)での生活用水は、1975年から本格運用直前まで右肩上がり増加

し、本格運用後はその高いレベルで継続して 2000 年以降は緩やかな減少に転じている<sup>2)</sup>。

また、工業用水は、1973 年のオイルショックを契機に我が国全体で回収して再利用する割合が増えており、近畿臨海での工業用水は、1970 年代前半から 1980 年代前半にかけて大きく減少し、それ以降は緩やかな減少が続いている<sup>2)</sup>。加古川大堰運用の目的に臨海部での地下水位低下・塩分混入に対する工業用水の補給が挙げられていることから、大堰運用後には臨海部での工業用水が地下水から河川水に切り替えられ、これにより河川水からの取水量が増加していると考えられる。さらに、近畿臨海での農業用水は 1975 年から 2000 年頃までほぼ横ばいであるが、それ以降わずかではあるが緩やかな減少となっている<sup>2)</sup>。

従って、加古川流域全体での生活用水が人口増加に伴って本格運用後まで増加していること、加古川水系の水は流域外の市町村への生活用水としても供給されていること、本格運用後に臨海部での工業用水が地下水から河川水に切り替えられたこと、これらが本格運用後の河川流量の減少の大きな要因になっていると考えられる。

## 5. 結論

これまでダム・河口堰等の建設によって河川流量が変化するという定性的な報告はみられたが、本研究では、ダム・河口堰等の建設の主要な目的である流域の水資源開発に着目し、加古川をケーススタディーとして河川流量への影響を定量的に評価することを試みた。具体的には、加古川大堰の本格運用（1992 年）を境にして、その前後の 2 つの期間に分けて解析を行った。

その結果、加古川大堰とその上流・中流域に建設されたダムとが連携した水資源開発を含む流域全体の水資源開発によって、本格運用前は大堰下流で水枯れが生じていたものの、大堰運用後は少ないとは言え一定の流量が確保されることで水枯れが解消している。その一方で、加古川下流の国包地点近傍での流況をみると、本格運用前に比べて本格運用後には豊水流量は 26.0%、平水流量は 20.3%減少していた。また、河口循環流を形成する上で重要となる加古川河口から海域へ直接流入する河川流量は、本格運用後には流域での平均降水量の時に年間 20.5%減少し、渇水期に 5 割減少するという結果が得られた。

この河川流量の減少の要因としては、流域内及び加古川に依存する流域外の市町村の人口増加に伴う生活用水の増加、本格運用に伴って臨海部での工業用水が地下水から河川水に切り替えられたことが考えられた。

## 6. おわりに

### 6.1 水資源開発の課題

河川から海域へ直接流入する河川流量については、管理者である国及び県が大きな役割を果たしている。加古川での正常流量（水利権で定める利水量を含めて流水の正常な機能を維持するための渇水時の流量）の決定過程には課題が残っていると考えられる。正常流量検討の手引き（案）<sup>13)</sup>では、沿岸域での特性に応じてノリ養殖等の漁業生産への配慮が求められているものの、加古川水系河川整備基本方針<sup>14)</sup>では、河川下流の感潮域での魚貝類の生息、中流・上流では魚類の遡上・降河に配慮することとどまっている。

また、高橋（2009）<sup>15)</sup>による統合的水資源管理の概念の整理では、淡水システムは沿岸域における環境条件の決定因子であり、淡水域と沿岸域を 1 つの連続体としてとらえた淡水資源の管理が必要であるとしている。この概念自体は水循環基本法（2014）及び水循環基本計画（2016）に盛り込まれているが、同基本計画に沿岸域での魚介類の生息及び漁業生産に対する具体的施策が示されていない。

著者が懸念していることの中に、水資源開発を進める上で計画渇水基準年（10 年に 1 回の渇水）を超える強度の異常渇水になると、流域ではダム建設前よりも渇水影響は確実に深刻になる<sup>11)</sup>との指摘がある。加古川から海域へ直接流入する河川流量でも同様な現象が起きており、本格運用後の異常渇水年の 1994 年は解析対象とした全期間の中でも加古川から海域へ直接流入する 7 月～12 月の河川流量が最も少ない。また、同程度の年間降水量である本格運用前の 1978 年と比較すると、河川流量の年間値と 7 月～12 月の積算値はそれぞれ約 1/2 と約 1/3 に低下している。この時期の沿岸域の環境への影響が懸念される場所である。

いずれにしても水資源開発による河口域の海域環境及び漁業生産への影響については、今後、水質観測結果や沿岸域水質モデルなどを用いて定量的に評価することが重要であると考えられる。また、水資源開発を

進める上で、またこれまで進められてきた水資源開発についてもその影響を検討し、できるだけ漁業生産への影響が小さくなるように配慮するとともに、施設の管理・運用を行うことが重要ではないかと考えられる。これは、真鍋（2007）<sup>16）</sup>の提案する漁業用水が、先発水利権の立場で他の水利用との共存を図るという考えにも繋がると思われる。

## 6.2 流量データ等について

流域での水資源開発及び水収支等の研究を進めるうえで、重要な統計情報である水文水質データベース下のダム諸量データベースでのダム・堰からの放流量は、「ダムから下流に放流するゲート・バルブ等から流れ出る水量及び貯水池から直接取水する発電及び各種用水の使用水量を合計した水量」（国土交通省）であることから、ダムによっては下流河川へ放流する水量を別途算出することが必要であり、その算出に苦慮することがないようにその水量を公表することが必要である。

最後に、本研究で用いた気象データ、加古川の流況データ及び流量データ以外の大堰稼働前の加古川流域全体の水利権、水利権の推移、各用水の取水量については提供を受けることが難しいデータが多かったことから、本研究は公表されている限られたデータを基にした解析であることを記しておく。

## 謝辞

本研究には、河川管理者等の長期にわたるデータの蓄積が不可欠であり、関係者の長期に渡る尽力に深く感謝する次第です。また、加古川流域の降水量と加古川から海域へ直接流入する河川流量の線形回帰式の有意性の統計解析については、生物科学研究所の井口豊博士より懇切丁寧な指導を頂きました。

## 参考・引用文献

- 1) 近畿地方整備局（2013）：平成 24 年度加古川大堰定期報告書，平成 25 年 3 月，498pp.
- 2) 国土交通省（2016）：平成 27 年度版日本の水資源の現況，144pp.
- 3) 高橋裕（2008）：新版河川工学，東京大学出版会，東京，318pp.
- 4) 山本民次（2007）：ダム建設によるエスチュアリーへの貧栄養化と植物プランクトン相の変化，Nippon Suisan Gakkaishi, 73, pp.80-84.
- 5) 高木秀蔵（2014）：河川から沿岸海域への栄養塩供給とノリの栄養塩利用に関する研究，岡山水研報告，29, pp.1-50.
- 6) 柳哲雄（2014）：瀬戸内海における富栄養化・貧栄養化の力学，沿岸海洋研究，52, pp.3-10.
- 7) 兵庫県（2016）：ひょうご水ビジョン，平成 28 年 3 月，30pp.
- 8) 建設省近畿地方整備局姫路工事事務所（1993）：加古川大堰工事誌，建設省近畿地方整備局姫路工事事務所，姫路市，1086pp.
- 9) Banfield, J. (1998) : Web-based Statistical Analysis, Rweb (<https://rweb.stat.umn.edu/Rweb/Rweb.general.html>) (参照：2017/4/10)
- 10) 石井大輔，柳哲雄（2005）：瀬戸内海の沿岸域と全域における TP・TN 濃度変動，海の研究，14, pp.35-45.
- 11) 千賀裕太郎（2007）：水資源管理と環境保全，鹿島出版会，東京，198pp.
- 12) 渡辺紹裕（1998）：水田灌漑，丸山利輔・中村良太・水谷正一・渡辺紹裕・黒田正治・豊田勝・萩野芳彦・中曾根英雄・三野徹著：水利環境工学，朝倉書店，東京，pp.58-74.
- 13) 国土交通省河川局（2007）：正常流量検討の手引き（案），81pp.
- 14) 国土交通省河川局（2008）：加古川水系河川整備基本方針，14pp.
- 15) 高橋裕（2009）：文部科学省資源調査分科会（第 20 回）資料 2 水資源の統合管理の概念整理，平成 21 年 10 月 9 日，11pp.
- 16) 真鍋武彦（2007）：新しい水利用概念『漁業用水』提案の経緯 -水利用と食料自給の観点から-，Nippon Suisan Gakkaishi, 73, pp.93-97.

（原稿受付 2018 年 12 月 23 日，原稿受理 2019 年 5 月 6 日）