

# 利根川上流域における水資源賦存量の長期変動

## Long-term Variation of Internal Renewable Water Resources in the Upstream of the Tone River Basin

松井 宏之  
MATSUI Hiroyuki

### 1. はじめに

わが国で利用される水のうち、総量の9割程度は河川を水源としている。温暖化により水資源の賦存状態が遷移していることが指摘されるなか、これまでに河川の流況がどのように推移してきたかを検討することは重要な課題である。長年にわたり河川流量データが蓄積されていれば、容易に分析することができるが、検討したい流域において流量観測が行われていない、長期にわたるデータの蓄積がないなどの理由により、長期変動の分析が困難になることがある。こうしたとき、河川流量は降水量、気温を入力データとし、蒸発散量の推定式、水文流出モデルの組み合わせによって算出されることが多い。そこで、本研究では蒸発散量の推定式に Hargreaves 式、水文流出モデルに Thomas abcd モデル（以下、abcd モデル）を用いて、利根川上流域における水資源賦存量の長期変動について検討した。なお、計算はデータ収集の容易さから月単位で行った。

### 2. モデルの概要

#### (1) 月単位水収支モデル

月毎の河川流量の計算には、松井（2004）が利根川上流域での再現性の高さを示している abcd モデルを用いる。abcd モデル（Thomas et al., 1983）において、河川流量は直接流出成分と地下水涵養量の和 ( $W_i - Y_i$ ) に直接流出割合 ( $1 - X_3$ ) を乗じた直接流出成分  $Q_d$  (式(1))、地下水量  $S_i$  に基底流出割合  $X_4$  (パラメータ) を乗じた基底流出成分  $Q_b$  (式(2)) の和として求められる。

$$Q_d = (1 - X_3) \cdot (W_i - Y_i) \quad \dots(1) \quad Q_b = X_4 \cdot S_i \quad \dots(2)$$

$X_3$ : 直接流出成分と地下水涵養量の和 ( $W_i - Y_i$ ) に占める地下水涵養量の割合 (パラメータ),  $W_i (=R_i + H_{i-1})$ : 月降水量と先月末の土壌水分量の和 (mm),  $Y_i (=ET_i + H_i)$ : 月蒸発散量と当該月末の土壌水分量の和 (mm)

表層部では、月蒸発散量と当該月末の土壌水分量の和  $Y_i$  およびその分配、地下水涵養が計算される。 $Y_i$  の値は式(3)によって計算され、その分配は式(4)によって行われる。

$$Y_i(W_i) = \frac{(W_i + X_2)}{2X_1} - \sqrt{\left(\frac{W_i + X_2}{2X_1}\right)^2 - \frac{W_i \cdot X_2}{X_1}} \quad \dots(3) \quad H_i = Y_i \exp(-ETp_i/X_2) \quad \dots(4)$$

$X_1$ : 土壌水分が不飽和な状態での流出程度を示すパラメータ,  $X_2$ :  $W$  の上限 (mm, パラメータ)

#### (2) 可能蒸発散量推定式

松井（2005）が係数をわが国に適応させた Hargreaves 式 (式(5)) を用いる。

$$ET_o = (12.9357 - 2.5872 \cdot \sqrt{\Delta T_{ann}} + 0.0178 \cdot P + 0.0834 \cdot T_{mean-ann}) \cdot 10^{-3} \times (32 + 1.8T_{mean}) \times (0.1612 \cdot P^{-0.0409}) \cdot \sqrt{\Delta T} \cdot \frac{R_a}{\lambda} \quad (5)$$

$\Delta T_{ann}$ : 年平均気温較差 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{mean-all}$ : 年平均気温 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{mean}$ : 月平均気温 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $P$ : 海岸からの距離 (km),  $\Delta T$ : 月気温較差 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $R_a$ : 大気外日射量 ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $\lambda$ : 蒸発潜熱 ( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ( $\approx 2.45$ )

#### (3) 積雪・融雪モデル

本研究の対象流域 (3.) では積雪・融雪を考慮する必要があるため、松井（2004）にならい、(Moussabi+植原) モデルを用いた (詳述略)。

### 3. 対象流域

対象流域は、流量への人為的影響が少なく、近隣に気象観測点がある中禅寺ダム (栃木県), 相俣ダム, 草木ダム, 品木ダム (以上, 群馬県), 下久保ダム (埼玉県), 計5つのダム流域とした (Fig. 1)。

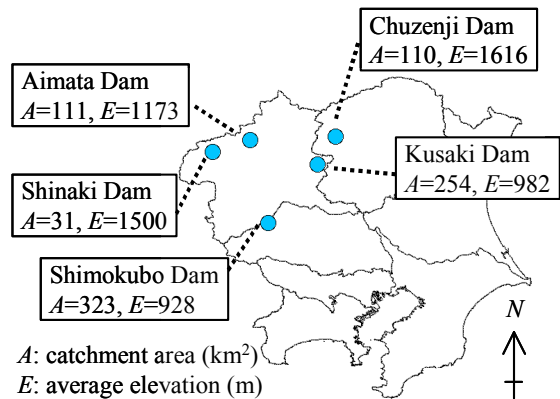


Fig. 1 Location of dams

#### 4. 水資源賦存量の長期変動

##### (1) 河川流量の再現性

対象とした5ダム流域における計算流量の平均相対誤差は、中禅寺ダム：15% (1962～1992)，相俣ダム：22% (1960～1992)，草木ダム：19% (1978～1992)，品木ダム：9% (1974～1992)，下久保ダム：37% (1969～1992) と比較的良好的な結果となった。下久保ダムの計算結果の Fig. 2 に示す。

##### (2) 河川流量データ

流域内あるいは近傍の気象観測点の気象データを収集し、4(1)の結果を得た月単位水収支モデルにより、月平均河川流量の時系列データを作成した。一例として、相俣ダム流域、下久保ダム流域の時系列データを Fig.3 に示す。各ダム流域のデータ作成期間は、中禅寺ダム：57 年間 (1944～2000)，相俣ダム：95 年間 (1906～2000)，草木ダム：102 年間 (1899～2000)，品木ダム：93 年間 (1908～2000)，下久保ダム：96 年間 (1905～2000) である。なお、欠測がある場合は近隣の気象観測点との間で求めた回帰式により補完した。

##### (3) 変動トレンド

4(2)により作成された河川流量を暖侯期 (4月～9月)，寒侯期 (10月～翌3月)，12ヶ月 (4月～翌3月) で合計し、それらを各期の水資源賦存量 (以下、賦存量) として線形トレンドを検出した。検出されたトレンドを Table 1 に示す。12ヶ月の賦存量は、相俣ダムを除いて減少トレンドとなっている。これは、Table 2 に示すように降水量が減少トレンドとなっていることを主因としている。賦存量と降水量のトレンドを比べると、多くは (降水量) < (賦存量) となっている。長期の水収支では、河川流量 (あるいは賦存量) は降水量と蒸発散量の差となることから、蒸発散量のトレンドが降水量の減少トレンドを緩和する方向に作用していることが示唆される。期別にみると、中禅寺の暖侯期、相俣の寒侯期は他と異なり (降水量) > (賦存量) となっている。いずれとも雪が関係し、中禅寺の暖侯期では寒侯期の積雪の減少にともない融雪水が減少していること、相俣の寒侯期では降水量は増加しているものの雪として貯留されるため賦存量には寄与しないことに起因していると考えられる。

#### 5. おわりに

温暖化に伴う気象の変化は都市に位置する気象官署で蓄積された気象データに基づき、論じられることが多い。本研究では都市化の影響が少ないと思われる気象観測点のデータに基づき、水資源賦存量の長期変動について検討した。その結果、利根川上流域での水資源賦存量の変動は一様とはならないことを示した。

#### 引用文献

(1) 松井(2004)：利根川上流域における月水収支モデルの比較，農土論集 234, 141-146, (2) 松井(2005)：月水収支分析のための基準蒸発散量推定式の検討，水工論集 49, 355-360, (3) Thomas, H.A. et al.(1983)：Methodology for water resource assessment, report to USGS, Rep. NTIS 84-124163, Natl. Tech. Info. Serv., Springfield, Va.

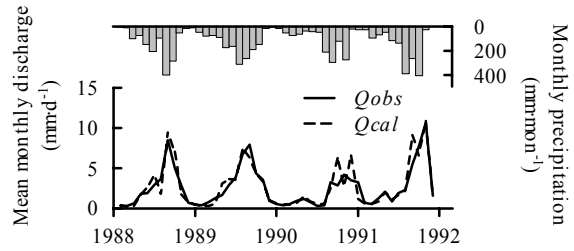
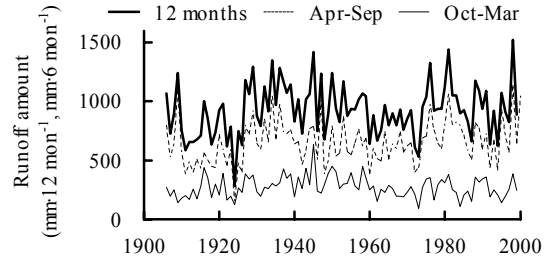
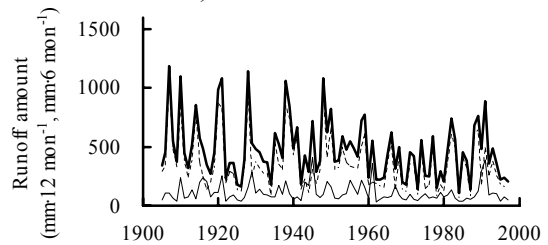


Fig. 2 Calculated hydrograph (Shimokubo Dam)



i) Aimata Dam



ii) Shimokubo Dam

Fig. 3 Time series of internal renewable water resources (IRWR)

Table 1 Trends of IRWR

	12months (mm·y <sup>-1</sup> )	Apr.-Sep. (mm·y <sup>-1</sup> )	Oct.-Mar. (mm·y <sup>-1</sup> )
Chuzenji	-5.2***	-1.9***	-3.0***
Aimata	1.3***	2.1***	-0.1
Kusaki	-2.5***	-1.8***	-0.7***
Shinaki	-2.1***	-1.2***	-1.1***
Shimokubo	-1.8***	-1.6***	-0.2***

\*\*\*: significant at 99.9% confidence level

Table 2 Trends of precipitation

	12months (mm·y <sup>-1</sup> )	Apr.-Sep. (mm·y <sup>-1</sup> )	Oct.-Mar. (mm·y <sup>-1</sup> )
Chuzenji	-5.9***	-1.4	-4.2***
Aimata	0.7***	0.1	0.9***
Kusaki	-3.1***	-2.1***	-1.0***
Shinaki	-3.0***	-1.4***	-1.7***
Shimokubo	-2.7***	-2.2***	-0.3***

\*\*\*: significant at 99.9% confidence level