

水収支解析による池田湖水位の推定  
水資源としての湖の水収支に関する研究 (2)

Estimation of Lake Level by Analysis of the Hydrologic Budget for Lake Ikeda  
Hydrologic Budget of Lake as Water Resources (2)

伊藤 祐二\* 粕井 和朗\*\* 中川 啓\*\*

Yuji ITO, Kazuro MOMII and Kei NAKAGAWA

1. はじめに

近年、水資源としての湖では急激な湖水環境の悪化および社会的要求の変化に伴い、大気圏、水圏、土壌圏といった生態系レベルでの対応が求められ、様々な負荷軽減または負荷排除策が講じられている。しかし実際には、湖の保全および水管理が適正になされていない場合があり、その理由の一つに対象となる湖の水文学的解明および把握が不十分であることが挙げられる。

本研究では、量的側面から湖の水文学的解明を行うために、水資源として利用されている池田湖において、貯水量を管理する実測水位に対する推定モデルを構築し、30年間の水収支解析を行い、湖水の保全および管理に対して有用となるモデルの妥当性を検討する。

2. 推定方法

本研究では、1967年～1996年において水収支解析を行った。基礎式として、池田湖の水収支は次式で表される。

$$dS/dt = I_p + I_d + I_i - O_e - O_l - O_w \quad (1)$$

ここに、 $dS/dt$ ：単位時間における水位変化、 $I_p$ ：降水量、 $I_d$ ：流域流入量、 $I_i$ ：注水量、 $O_e$ ：湖面蒸発量、 $O_l$ ：湖底漏出量、 $O_w$ ：利水量である。式(1)における各々の項は全て日平均値(mm/day)であり、右辺は全て池田湖の水位に換算した値となっている。また、解析における降水量、取水量、注水量は実測データ、湖面蒸発量は別ルーチンで計算された推定値に基づいている。これらのデータを入力値として、流域流入量は、Fig.1で示される3段タンクモデル( $a_1 \sim a_6$ ：流出および浸透孔係数、 $Z_1 \sim Z_3$ ：流出孔高、 $S_1 \sim S_3$ ：タンク内水位)の流出量として推定する。

また、湖底漏出量は次式に基づいて推定する。

$$O_l = a_c \Delta h \quad (2)$$

ここに、 $a_c$ ：鉛直方向に平均化された鉛直透水度、 $\Delta h$ ：湖水位と流域外地下水水位の水頭差である。ちなみに本研究における流域外地下水水位は、湖から西に約1km離れた平均的な地下水水位(50.0m)を用いており、この地域は池田湖起源と推測される湧水が、最も多く確認されている場所である。

以上のような湖水位推定モデルのFig.1( $a_1 \sim a_6$ 、 $Z_1 \sim Z_3$ 、 $S_1 \sim S_3$ )および式(2)( $a_c$ )で示される計13個の未定パラメータ群に適当な値を入力し、結果として出力された値が推定される湖水位となる。

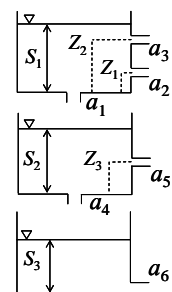


Fig.1 流域流入量推定モデル  
The discharge model for watershed.

\*鹿児島大学大学院連合農学研究科 United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University

\*\*鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima University

キーワード：水収支・水循環、水資源、パラメータ最適化

本研究では、大域的なパラメータの検索が行えるSCE-UA法<sup>1)</sup>を用いて、実測湖水位を精度よく再現する最適なパラメータ群の検索を行った。その際、実測および推定湖水位の誤差評価関数として、次式で表される平均相対誤差 ( $RE$ ) を適用し、同時にいくつかの制約条件を付加した目的関数を用いてモデルの評価を行った。

$$RE = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{|S_{ci} - S_{oi}|}{S_{oi}} \right\} < 1.5 \times 10^{-3} \quad (3)$$

ここに、 $N$ : 計算日数、 $S_c$ : 推定湖水位、 $S_o$ : 実測湖水位である。

また、式(3)の妥当性を検討するために、1967年から1970年までの4年間をモデル検定期間とし、1967年から1981年までの15年間において、他の4つの評価関数とともに評価能力の比較を行った。参考までに、残差の標準偏差 ( $RMSE$ ) を評価関数として用いた場合との比較では、15年間の各々の標準偏差は  $RMSE$ : 831mm、 $RE$ : 501mm であった。

### 3. 結果と考察

本研究における水収支解析年 (1967年 ~ 1996年) において継続的に観測された降水量は、流域外 (湖東部約5.0km) の1地点のみであった。よって本研究では、降水の空間的代表性が池田湖の水収支に及ぼす影響を考慮し、流域外降水量 ( $P_A$ ) に対して、現在湖畔3地点において観測されている流域内降水量 ( $P_1, P_2, P_3$ ) の平均値 ( $P$ ) から補正を加えた。また、ここでは  $I_p = P$  と考える。流域内 ( $P$ ) および流域外 ( $P_A$ ) の月平均降水量の相関を Fig.2 に示す。

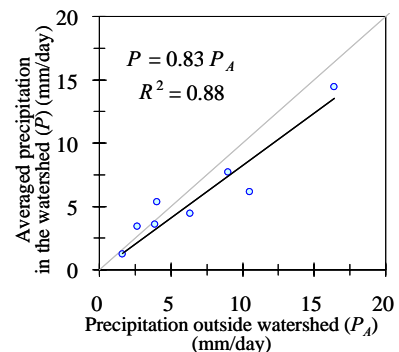


Fig.2 流域内外の月平均降水量の比較 (2004.2.1 - 2004.9.30)  
Correlation of monthly precipitation between inside and outside watershed.

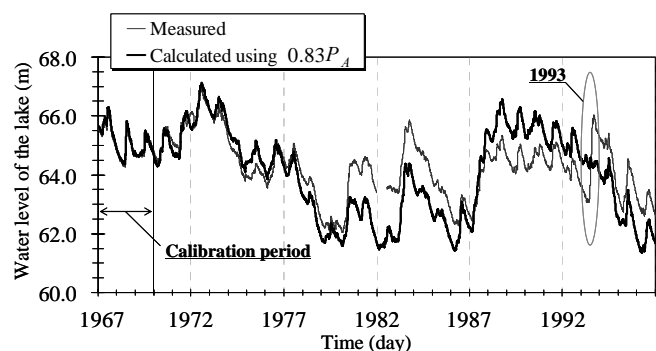


Fig.3 補正降水量を用いた湖水位の推定 (1967.1.1 - 1996.12.31)  
Lake level calculated using corrected precipitation ( $0.83P_A$ ).

Fig.2の補正降水量 ( $0.83P_A$ ) を用いて推定された湖水位と実測湖水位の日変化を Fig.3 に示す。1967年から1970年のモデル検定期間を含め、1980年5月頃までは、実測を概ねよく再現している。しかし、それ以降は実測から大きく外れ、特に1993年では水位の変動状況も大きく異なっている。推定誤差の原因としては、推定に用いた補正降水量の空間的代表性、その他の水収支構成要素に含まれる誤差が考えられる。

### 4. おわりに

本研究では、水資源としての湖である池田湖において、1967年から1996年の30年間に渡る水収支解析を行い、湖水を管理する実測水位に対する推定モデルの妥当性を検討した。

現モデルは、実際の湖水の保全および管理に対して十分有用であるとは言い難いが、ここで示した推定方法により、今後、降水量およびその他の水収支構成要素の誤差を補正し、モデルパラメータを修正することで、有用性の高いモデルの確立が可能であると考えられる。

### 参考文献

1) Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V.K.(1992): Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, *Water Resources Research*, **28**(4), pp.1015-1031.