

# 土浦市宍塚大池の水収支

## WATER BALANCE IN THE POND OF SHISHITSUKA-OIKE, TSUCHIURA CITY.

福田 正敏\*・田瀬 則雄\*\*

Masatoshi FUKUDA\* and Norio TASE\*\*

### 1. はじめに

宍塚大池は土浦市の西部、桜川の右岸に続く谷地をせき止めて江戸期に造られたため池である(第1図)。近年、宍塚大池のようなため池は、農業用水としての利用だけでなく、市民の身近にある水辺環境としても注目されている。

宍塚大池においては、田瀬ほか(1996)によって水文観測が行われたが、観測の行われた1994年は相当な異常気象であったほか、蒸発散量、地下水流入・流出量などさらに検討を必要とするものも存在した。また、宍塚大池の水は、台地上への降水が地下に浸透し浸み出してくる水によって保持されていると考えられるが、詳しいことは明らかにされていない。

そこで本研究では、宍塚大池において各種の水文観測を行い、宍塚大池および宍塚大池流域での水収支を明らかにし、さらには宍塚大池流域での水の挙動、配分を明らかにすることを目的とする。

### 2. 調査地域の概要

宍塚大池(以下、大池)は、第四紀洪積世に形成された筑波台地の東端に位置する(宇野沢ほか, 1988)。台地の標高は20~25mである。満水時において、水面の標高は13.330m、水面積は2.91ha、貯水量は2.4万 $m^3$ である(田瀬ほか, 1996)。

大池への流入は、谷頭部に湧水の存在する西側支谷からのみとなっており、他の支谷からの流入は認められない。しかしながら、西側支谷からの流入は、本研究で調査した1995年12月~1996年11月の期間において、降雨時に水流がみられる程度の非常に規模の小さいものとなっている。また、湧水に関しても1995年秋頃より涸渇した状態が続いている。

池からの流出は、池北側からの1ヶ所のみである。池からの灌漑用水の取水および水位上昇時の放水は、池北側の堰堤より5mほど離れた取水塔の2つの円形の栓を操作することによって行われる。これは必要に応じ人為的に行われる。取水塔の天端(13.315m)は、常に解放されており水位が上昇すると自然に放水する仕組みになっている。さらに水位が上昇した場合、堤にある余水吐(13.330m=満水)から自然に放水される。

堰堤から約15mはなれた池上には観測用の槽があり、3章の研究方法で詳しく述べる測器が設置してある。

大池の周辺は、そのほとんどが雑木林となっている。池北側の谷地の一部や西側支谷の一部は水田として利用されている。また、池の南側の台地上の平坦地は、畑地、芝地として利用されている。このように、開発は進んでおらず貴重な自然を残している。なお、流域面積は、58.2haである。

\*筑波大学・院 環境科学研究科, \*\*筑波大学 地球科学系

地形的には、台地上の平坦部を除いて、非常によく開析されており、起伏に富んでいる。また、流域西側の台地は常磐自動車道（標高15～18m）によって開削されており、天王池の流域と切断されている。

地質は、土浦市（1995）によるボーリング調査結果によると、上位より表土（<0.5m）、ローム層（2～3m）、粘土層（1～2m）、砂層の順となっている。粘土層は、含水量が少なく難透水層と考えられる。したがって、砂層が主要な帯水層となっている。

### 3. 研究方法

研究期間は1995年12月から1996年11月までとした。大池および大池流域の水収支を明らかにするため、大池において降水量、池水位、蒸発量、流出量の観測を行った。

降水量は、前述の槽に設置した0.5mm転倒マス型自記雨量計(KADEC-PLS)で観測した。

池水位は、槽に設置された水圧センサー式自記水位計(KADEC-MIZU)で10分間隔で測定し、水準測量したデータによって標高に換算した。

池からの蒸発量は、槽の南側の水面に円筒形のパン（直径20cm・深さ25cm）にフロートをつけて浮かせ、その内部の水位の変動を池水位同様水圧センサー式自記水位計(KADEC-MIZU)で1996年4月より30分間隔で測定し日単位の蒸発量としてまとめた。槽とパンは完全に固定せず、池水位の変化に対応して上下に動く。したがって、適宜給排水をすれば池水位とパン内部の水位はほぼ同じになる。また、その観測結果の妥当性は筑波大学水理実験センターのウェイングライシメータによる蒸発散量やMakkink法(Winter et al.,1995)によって得られた可能蒸発散量を用いて検討した。

Makkink法とは、全短波放射（太陽放射）量を用いて可能蒸発散量を推定する経験式で、現場における気象データが無い場合にも近隣でルーチン観測されているデータによって月当たりの可能蒸発散量を求めることが可能である。今回は筑波大学水理実験センターの観測値を用いた。Makkink法は以下の式で表される。

$$P_{e,t} = [0.61(s/(s+\gamma))(Q_s/L)] - 0.012$$

ここで、 $P_{e,t}$ は可能蒸発散量（cm/d）、 $s$ は飽和水蒸気圧曲線の傾き、 $\gamma$ は乾湿計定数、 $Q_s$ は全短波放射量（cal/cm<sup>2</sup>/d）、 $L$ は水の潜熱である。

流出量は、池北側の流出口に設置された90°Vノッチ堰において、池水位と同様に10分間隔で水位を自記観測し、水位—流量曲線によって流量に変換した。水位—流量関係は以下の式で表される。

$$Q = 0.05217H^{2.0206}$$

ここで、 $Q$ は流量（L/s）、 $H$ はノッチからの水位（cm）である。

また、以上のような観測とともに、大池周辺観測井の地下水位、水の酸素安定同位体比などの観測・分析を行い、水収支を明らかにする情報とした。

地下水位は土浦市がボーリング調査用に掘削した13本の観測井と田瀬ほか（1996）が水文観測用に掘削した2本、流域内外の既存の井戸2本、独自に掘削した5本をあわせた合計22本の水位を10日に1度の間隔で手測りで行った。また、2本（W-3b,W-16）については、水圧式自記水位計（日さくNDR-W）により30分間隔で測定を行った。

降水（1ヶ月ごと）、池水（月2回）、及び1996年9月21-22日の豪雨前後の地下水に関して酸素安定同位体比の測定を行った。分析は水—二酸化炭素平衡法により筑波大学の質量分析計（Finnigan MAT Delta-S）で行った。

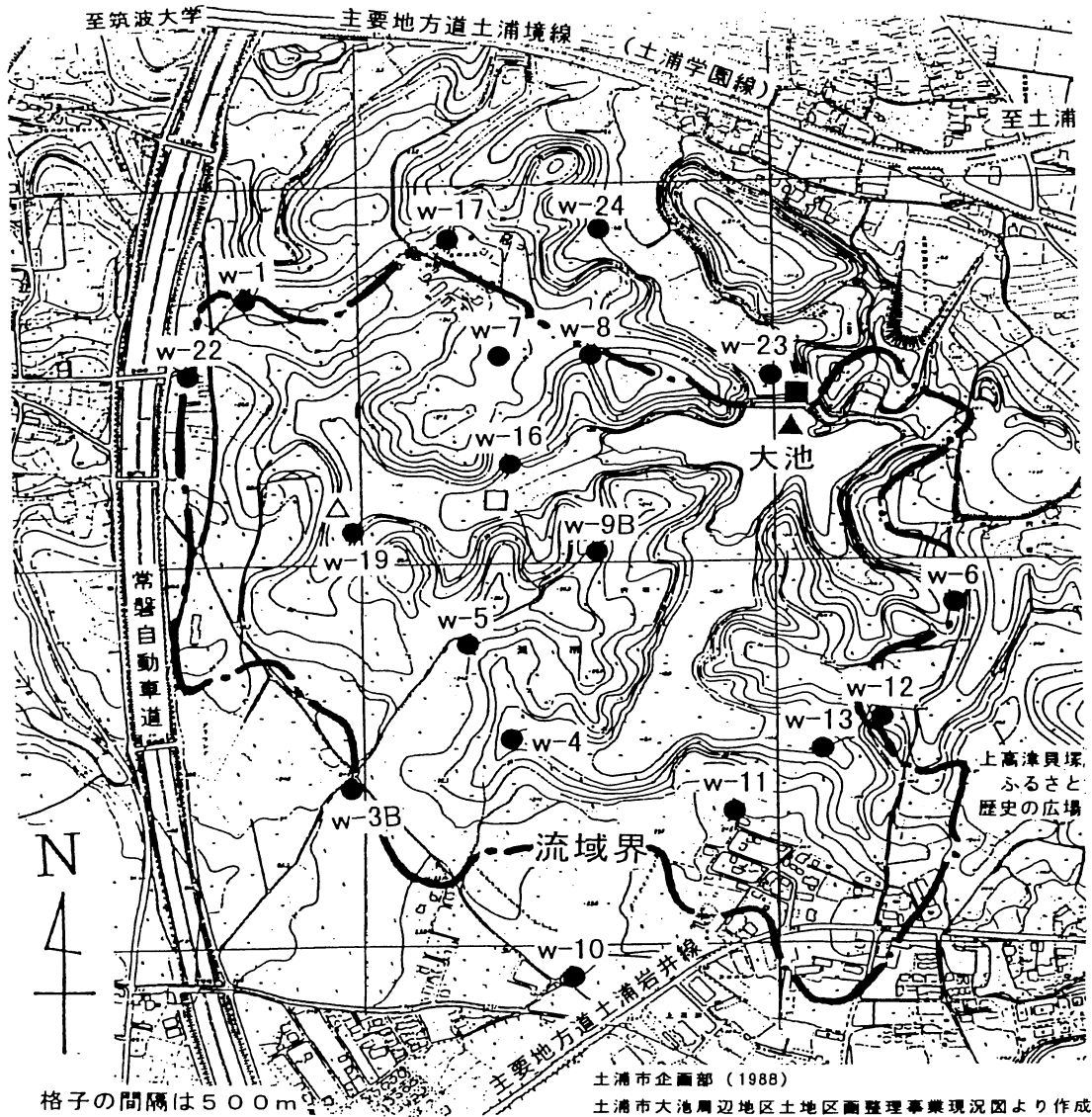
また、測器のトラブル等により欠測したデータのうち代替できるものは、筑波大学水理実験センターの気象観測データを用いた。

これらの観測地点を第1図に示した。

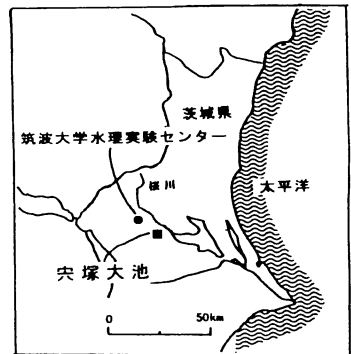
## 4. 観測結果

### 4.1 降水

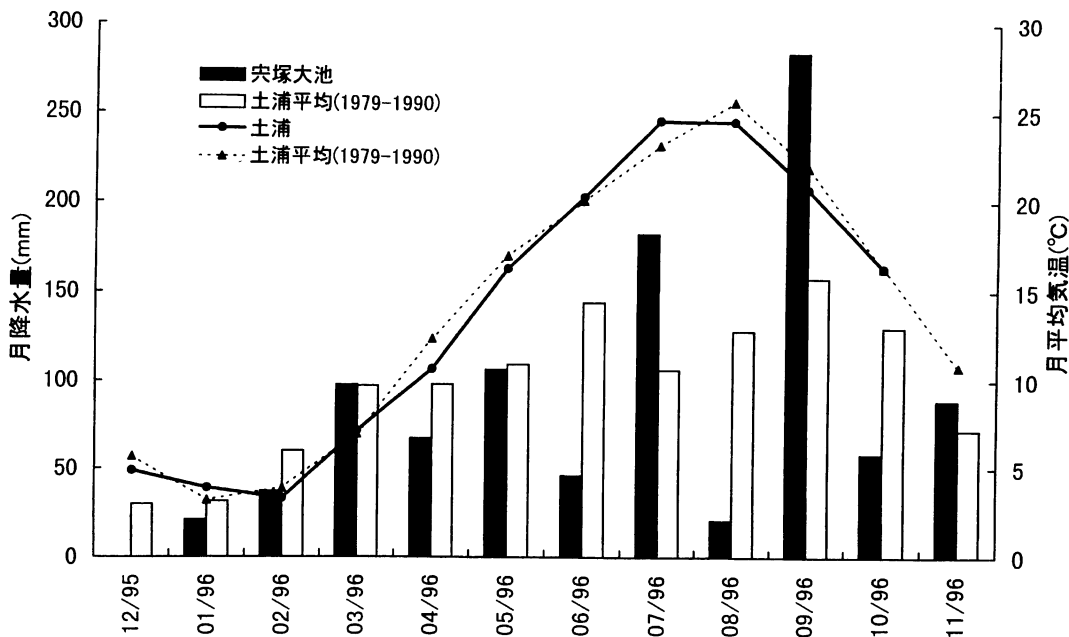
大池周辺の山林を育み、大池の水を涵養している源は、降水である。したがって、降水量の季節配分やそのパターンを知ることは重要と考える。第2図に大池の月降水量、土浦（土浦2中AMeDAS）の



- 観測井
- ▲ 降水量・池水位・蒸発量・採水
- 流出量
- △ 湧水
- 西流入口



第1図 大池の位置および観測地点



第2図 大池における月降水量および土浦の気温・降水量

月降水量および月平均気温を示した。また、第3図には日降水量のデータを示した。

土浦の1979年から1990年の平均年降水量は1155.6mmである。その季節的配分は、梅雨と台風・秋霖による2つのピーク（6、9月）を持つ。また、冬季の降水量は少なく太平洋岸気候の特徴を示している。

研究期間における大池での年降水量は、1008.5mmであり、平年と比較すると少雨であったことがうかがえる。特に1996年は6、8月の降水量が少なかったことが特徴的である。

降水量の日データに着目すると、1995年12月から1996年1月、6月前半、8月の少雨・無降雨の期間が目立つ。冬季の乾燥は平年と比較しても十分考えられる値であるが、本来降雨があるべき夏季の少雨によって大池周辺では非常に乾燥した状態が続いた。しかし、9月22日に台風17号の影響で189mmの豪雨があり、少雨による乾燥状態は解除された。その後は比較的安定した量の降水があった。

なお、気温に関しては、本研究期間は平年並みであったといえる。

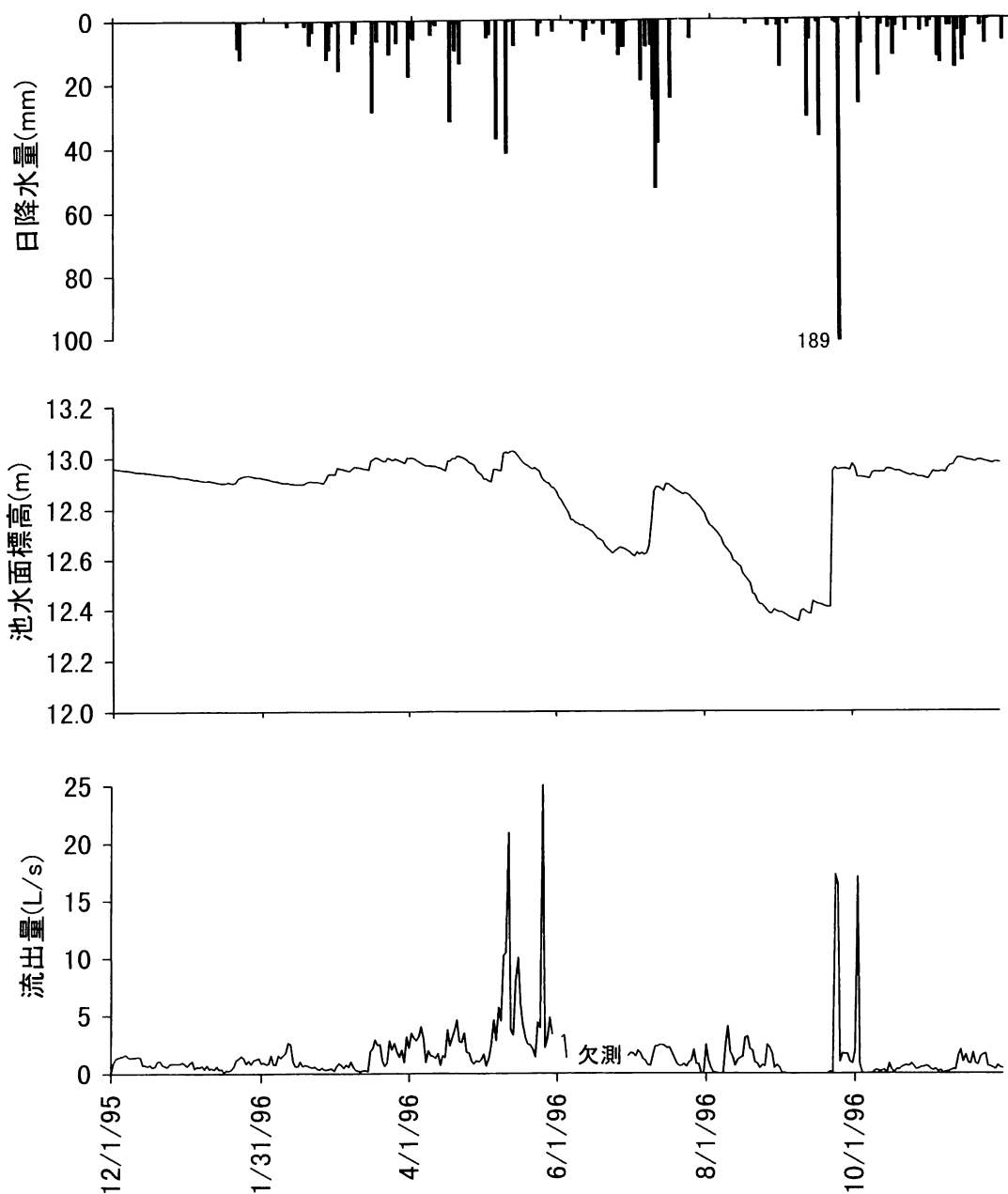
#### 4.2 池水位および流出量の変動

大池の水位（第3図）の変動をみると、1996年5月頃までは水位は安定していたが、その後の少雨と灌漑水の取水によって水位は低下した。7月の降水によって水位は一時的に持ち直したが、その後は低下し続け9月9日には最低水位12.348mを記録した。しかし、9月22日の豪雨で水位は約13mまで回復し、その後は安定している。水位が13m以上にならないのは、水位が上昇してきた際、安全のため人為的に放水されるからである。1995年12月から翌年1月にかけての乾燥状態においても、比較的水位が安定しているのは灌漑水の取水がないことと蒸発による損失が少ないためである。

次に流出量の変動（第3図）をみると、降雨中や降雨後、灌漑期に多く流出していることがわかる。これは先に述べたように人為的に取水塔の栓を開放し流出させているためであり、それらを除くと、基底流出量は、約1L/s (0.15mm/d：流域の水高)と非常に少ない。

#### 4.3 水面からの蒸発量

大池の水面に浮かべた蒸発パン内部の水位は、平

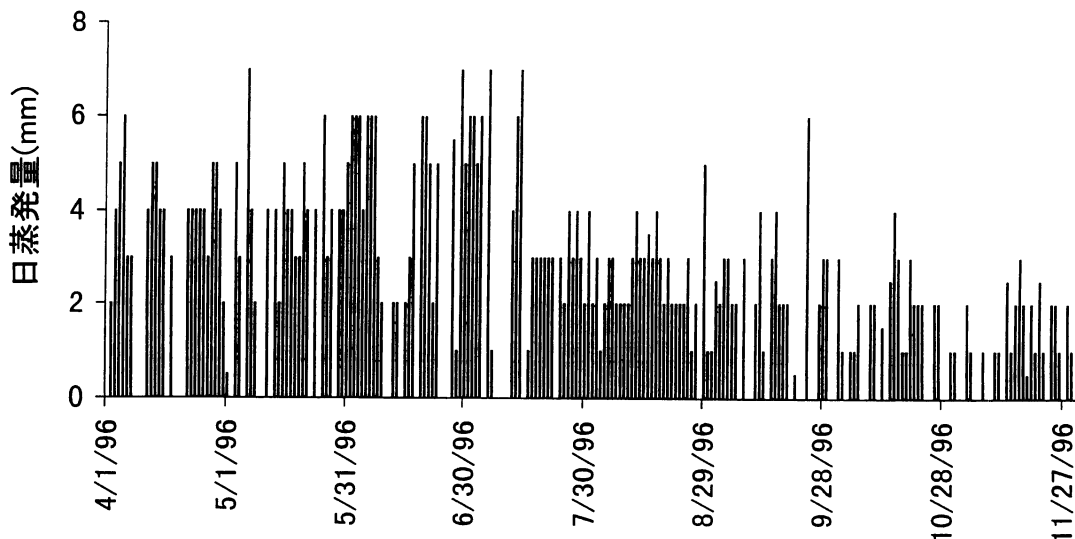


第3図 降水量・池水位・流出量の変動

均で2～3mm/d、最大で7mm/dの減少がみられた。降水があった場合は当然パン内部の水位は増加する。その場合は、降水量の時間データと照合し降水量とパン内部の水位上昇量の差を日蒸発量とした。その差が明確でない場合や多量の降水があった場合

には蒸発量は0mmとした。これを水面からの蒸発量と考え、第4図に日データとして示した。

大池の蒸発パンで得られたデータのうち7・8月の蒸発量が少ないのは、ハスによる影響と考えている。大池においては6月から9月にかけて、水面に



第4図 蒸発量の変動

ハスが繁茂する。そのため、水面、すなわち蒸発パンが日影になることが多く、蒸発が抑制されているのだと考えられる。したがって、6月から9月にかけてはハスによる蒸散量を考慮しなくてはならない。しかし、今回は蒸散量の測定・推定は行わなかった。

Makkink 式で得られた蒸発量は、秋から冬にかけて過大評価する傾向が認められたため、蒸発量を観測していない1995年12月から1996年3月までの蒸発量は、Makkink 式で得られた蒸発量を0.8倍したものを蒸発量とした。このようにして得られた大池水面からの年蒸発量は700.7mmである。

#### 4.4 流域からの蒸発散量

流域からの蒸発散量については、流域を水面、森林、その他(畑地、草地、荒地、住宅、道路等)の3つに分類し、それぞれからの蒸発散量を加えて求めた。それぞれの占める割合は、筑波大学・土浦市(1996)による土地利用割合を参考にし、水面5%、森林60%、その他35%とした。水面からの蒸発量は、前述の蒸発量観測値および Makkink 法による計算値を用いた。森林からの蒸発散量は、近藤ほか(1992)による全国の森林からの蒸発散量(東京と宇都宮の平均値)を用いた。その他からの蒸発散量は、筑波大学水理実験センター圃場のウェイングライシメータによる蒸発散量観測値(1982年から1993

年までの平均値)を用いた。このようにして得られた結果は、実測されていない部分が多く、月ごとの蒸発散量は参考程度の値であるが、年蒸発散量714.3mmは妥当な値と考えられる。

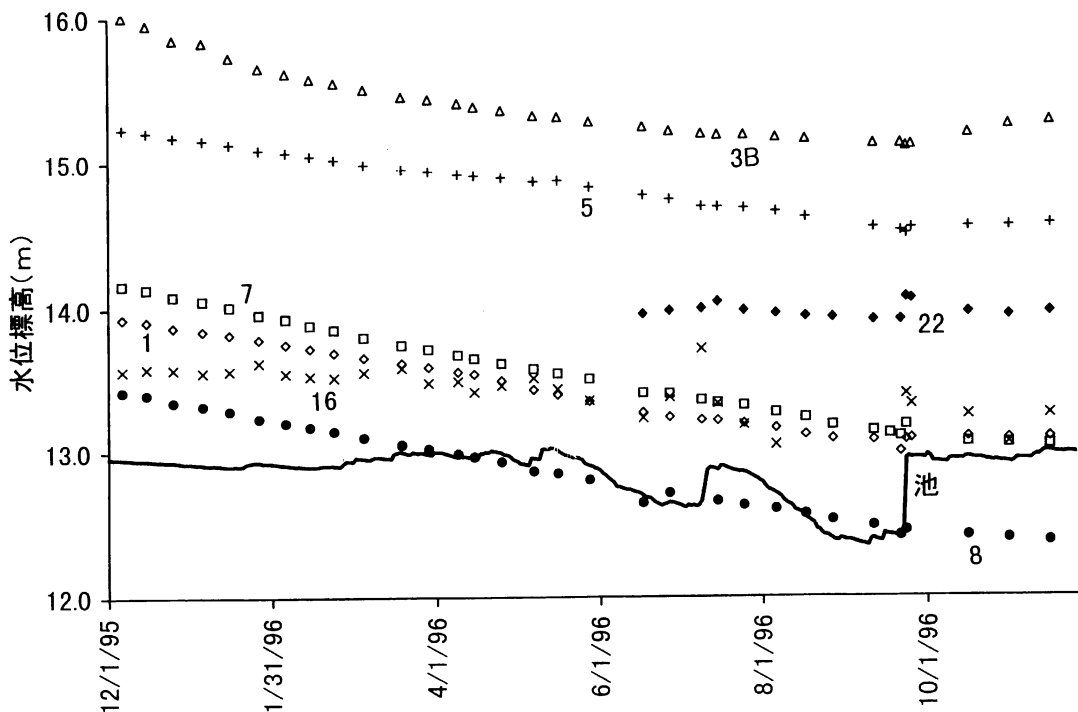
#### 4.5 流域からの流入

流域からの表流水としての流入量が少ないことは、2章の調査地域の概要でも述べた。それにもかかわらず、大池の水位が比較的安定しているのは、流域から地下水として流入している割合が多いためと考えられる。

#### 4.6 地下水位の変動

主な地下水位の変動を第5図に示した。観測地点が少なく、地下水は描けないので、第6図には1996年11月30日の地下水水面標高の空間分布を示した。

傾向としては、1996年の少雨を受けて、全体的に水位は低下している。9月の豪雨によって若干水位は回復し、その後は横ばいの水位変動である。台地上の地下水は、大きな降雨でない限り、それぞれの降雨には応答しない。逆に、谷地の地下水(W-16)はそれぞれの降雨に良く応答している。このことから、降雨直後の大池の水位上昇には池面や谷地への降雨が大きく寄与していると考えられる。また、少雨時における池水の涵養は台地からゆっくりと浸み



第5図 地下水位の変動

出してくる地下水の占める割合が大きいと推察される。

地下水面は、南の方が高く、北へ行くほど低くなっている。これは、北側には桜川の低地があることと一致する。

#### 4.7 酸素安定同位体比

大池で採水された降水（1ヶ月ごと）、大池の池水（月2回）の酸素安定同位体比（以下、 $\delta^{18}\text{O}$ 値）の分析結果を第7図に示した。池水の分析データは採水日にプロットしてある。降水は回収日から回収日の間の降水であるので期間を横棒線で示した。なお、1995年12月は無降水であった。

降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、同位体の温度効果によって夏には高い（重い）値を、冬には低い（軽い）値を示している。1996年7、9月の $\delta^{18}\text{O}$ 値が低いのは、多量の降水があったこと（降水量効果）によるものである。降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値の観測期間中の平均値（加重平均値）は $-7.9\%$ である。

池水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値、流入水の

$\delta^{18}\text{O}$ 値、水面からの蒸発による同位体分別によって決まる。多量の軽い降水があった7、9月にはその影響によって池水の $\delta^{18}\text{O}$ 値も低くなっている。逆に、降水が少なく、水面からの蒸発による損失の大きい6、8月は池水の $\delta^{18}\text{O}$ 値も高くなった。降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は低い値を示しているもののその量が少ない1、2月は池水は降水に影響されていない。池水の $\delta^{18}\text{O}$ 値の平均値は $-4.5\%$ である。

次に、地下水の $\delta^{18}\text{O}$ 値の分析結果であるが、W-10、W-23を除いては、 $-7.8\sim-7.4\%$ の範囲内であった。地下水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は年変化をせず、降水の年平均値を示す（中井、1986）のでこれらの値は妥当であるといえる。池北側の谷地のW-23（ $-6.1\%$ ）については地下水面が浅く、地表面付近において蒸発による同位体分別を受けた重い水の影響を受けているのか、あるいは、池水の影響を受けているのか現時点では不明である。W-10（ $-6.1\%$ ）については、近接する用水路からの漏水の影響が考えられるが、調査は行っていない。



土浦市企画部 (1988)  
土浦市大池周辺地区土地区画整理事業現況図より作成

第6図 1996年11月30日の地下水面標高図

5. 大池の水収支

5.1 大池の水収支

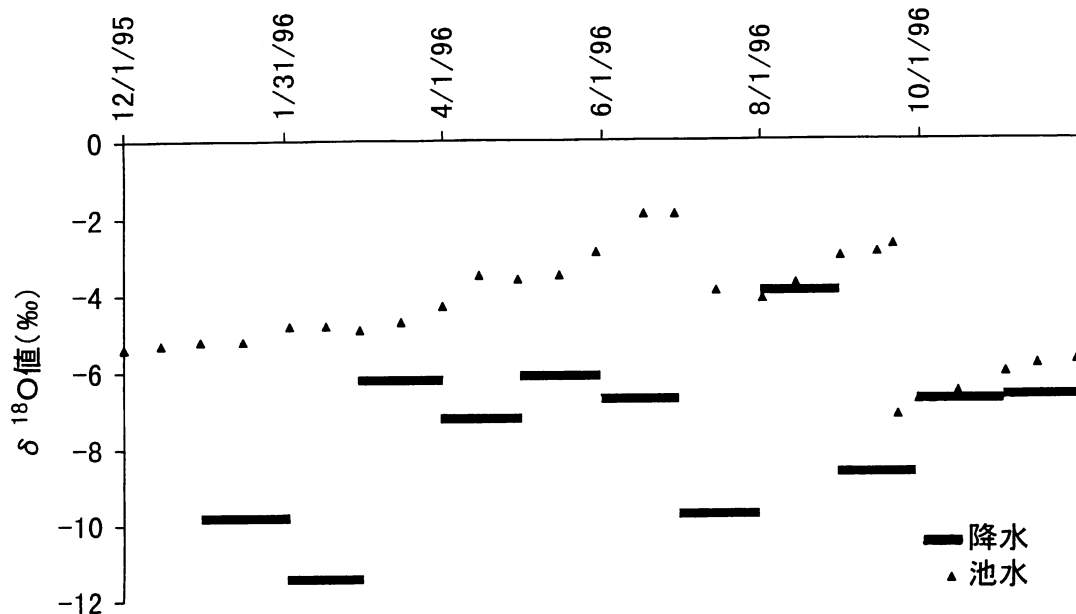
大池の水収支は、以下の式で表せる。

$$P + I_s + I_g = O_s + O_g + E + T + \Delta Sp$$

ここで、Pは水面への降水量、I<sub>s</sub>は表面流入量、

I<sub>g</sub>は地下水流入量、O<sub>s</sub>は表面流出量、O<sub>g</sub>は地下水流出量、Eは水面からの蒸発量、Tは6月から9月にかけて水面に繁茂するハスの蒸散量、ΔSpは池の貯留変化量である。このうち実測できるものは、P、O<sub>s</sub>、E、ΔSpである。実測できない項目については、残差R<sub>p</sub>として扱った。すなわち以下のように表せる。





第7図 大池における降水および池水の酸素安定同位体比

第1表 大池の水収支

年	月	P 降水量 mm	E 蒸発量 mm	Os 流出量 mm	Δ Sp 池貯留変化量 mm	Rp 残差 mm
1995	12	0.0	29.1	117.4	-35.4	-111.1
1996	1	21.0	27.8	83.8	-1.8	-88.8
	2	37.0	30.8	93.5	11.9	-99.2
	3	98.0	45.0	140.6	58.7	-146.3
	4	67.5	87.0	263.0	-60.6	-221.9
	5	106.5	89.5	184.8	-59.3	-108.5
	6	46.0	101.5	107.4	-187.7	24.8
	7	182.0	92.0	178.1	113.8	-201.9
	8	20.5	74.5	295.6	-261.6	-88.0
	9	283.5	52.0	137.0	428.6	-334.1
	10	58.0	40.0	141.1	-54.7	-68.4
	11	88.5	31.5	78.9	57.5	-79.4
合計		1008.5	700.7	1821.2	9.4	-1522.8

は欠測の為1994年同月のデータを掲載

$$P = Os + E + \Delta Sp + Rp$$

$$\text{ここで } Rp = Og + T - (Is + Ig)$$

第1表に大池の水収支の計算結果を示した。結果は、大池の水面面積を2.33haとし池の水高(mm)で

表現した。

流出量データが欠測のため、田瀬ほか(1996)による1994年の観測値で計算した5、6月は確度の低い結果である。その6月を除くとすべての月において残差Rpは負の値となっている。上記の残差Rpの式より、Og、TよりもI、流入量の方が大きい

第2表 大池流域の水収支

年	月	P 降水量 mm	ET 蒸発散量 mm	Os 流出量 mm	$\Delta Sp$ 池貯留変化量 mm	Rb 残差 mm
1995	12	0.0	20.6	4.7	-1.4	-23.9
1996	1	21.0	23.8	3.4	-0.1	-6.1
	2	37.0	41.8	3.7	0.5	-9.0
	3	98.0	59.7	5.6	2.4	30.3
	4	67.5	81.9	10.5	-2.4	-22.5
	5	106.5	88.0	7.4	-2.4	13.5
	6	46.0	89.6	4.3	-7.5	-40.4
	7	182.0	106.5	7.1	4.6	63.8
	8	20.5	83.8	11.8	-10.5	-64.6
	9	283.5	61.8	5.5	17.2	199.0
	10	58.0	34.8	5.6	-2.2	19.9
	11	88.5	22.1	3.2	2.3	60.9
合計		1008.5	714.3	72.8	0.5	220.9

は欠測の為1994年同月のデータを掲載

ということである。もちろん、大池の水が水面への降水だけによって維持されているとは考えられないので、流入量があって当然である。また、水面への降水のうち7割程度は蒸発によって失われる。Og, Tを0mmと仮定したとしても、Iは1522.8mmとなる。Og, Tが大きければ大きいほど、Iも大きくなるということが式よりもわかる。

## 5.2 大池流域の水収支

次に大池流域全体での水収支を考えてみる。大池流域の水収支は、以下の式で表せる。

$$P+I=Os+Og+ET+\Delta Sp+\Delta Sb$$

ここで、Pは降水量、Iは流入量、Osは表面流出量、Ogは地下水流出量、ETは蒸発散量、 $\Delta Sp$ は池の貯留変化量、 $\Delta Sb$ は流域の貯留変化量である。このうち、実測あるいは算定したものはP, Os, ET,  $\Delta Sp$ である。また、流域への流入路はなく、地形・地質的にも地下水が多量に流入しているとは考えられないので $I \doteq 0$ とした。大池の水収支と同様に、実測できないものを残差Rbとおくと以下のようなになる。

$$P=Os+ET+\Delta Sp+Rb$$

$$\text{ここで } Rb=Og+\Delta Sb(-I)$$

第2表に大池流域における水収支の計算結果を示した。流域面積は58.2haである。大池の水収支と同様に、5, 6月の流出量は確度の低い値で代替している。流域への降水量のうち、7割以上が蒸発散によって再び大気中に戻ってしまう。また、流出量は72.8mm/yと少なく、流出率は10%にも満たない。池の貯留量は、月単位でみると比較的変動するが、年間ではほとんど変化していない。残差Rbは220.9mm/yとなった。Rbは上記の式によれば流域からの地下水流出量と流域貯留変化量の和である。

ここで、地下水流出量を求めるために、流域の貯留変化量を概算してみた。流域の重要な貯留体は土壌であり、地中水(地下水・土壌水)として貯留されている。そこで、第5図の地下水水位の変動をみると、観測期間の1年で、70cm~1mの水位低下がみられる。地中水の移動に有効な間隙率は、0.1~0.2であるので、流域の貯留変化量 $\Delta Sb$ は-70~-200mm/y程度と考えられる。ここで、 $\Delta Sb$ を-100mm/yだと仮定すると、地下水流出量Ogは約320mm/yとなる。これは、流域から地下水として流域外に

第3表 無降雨期間における半日単位の水収支

日付	時間	流出量 mm	蒸発量 mm	池貯留 変化量 mm	残差 mm
8/1/96	6:00-18:00	19.6	1.6	-16.0	-5.2
	18:00-6:00	3.3	0.0	-3.2	-0.1
8/2/96	6:00-18:00	15.8	2.4	-13.3	-4.9
	18:00-6:00	0.6	0.0	-1.6	0.9
8/3/96	6:00-18:00	0.2	0.8	-3.1	2.2
	18:00-6:00	0.3	0.0	-2.3	2.1
8/4/96	6:00-18:00	2.3	1.5	-4.6	0.8
	18:00-6:00	3.9	0.0	-3.8	-0.1
8/5/96	6:00-18:00	0.0	2.3	-4.6	2.3
	18:00-6:00	0.0	0.0	-3.0	3.0
8/6/96	6:00-18:00	0.0	2.3	-5.3	3.0
	18:00-6:00	0.0	0.0	-3.0	3.0
8/7/96	6:00-18:00	11.6	1.5	-9.6	-3.4
	18:00-6:00	0.5	0.0	-1.5	1.0

流出しているということであるが、その詳細については、以下の項で検討する。

### 5.3 水収支からみた大池および大池流域での水の挙動

流域外への地下水流出として考えられるものの1つは、池からの漏出である。これは池の水収支の式で残差として与えたいちの $O_g$ である。

大池からの漏出については、現地調査によって、池北側の谷地が非常にぬかるんでいることが確認されたことから肯定される。また、池の水位よりも池北側のW-8の水位が低いときが存在することからも考えられる（第5、6図）。

第3表は無降雨であった1996年8月1日から1週間の池の水収支を半日単位（日中・夜間）に区切って示したものである。第3表において、残差が正の値になっている期間が存在することがわかる。これは、すなわち、流域から池に流入する量よりも、地下水として流出する量（漏出量）が多いということである。この量は約6mm/d、年間では約2190mm/yである。これを流域全体で考えると0.24mm/dとなり、年間では約90mm/yと概算できる。

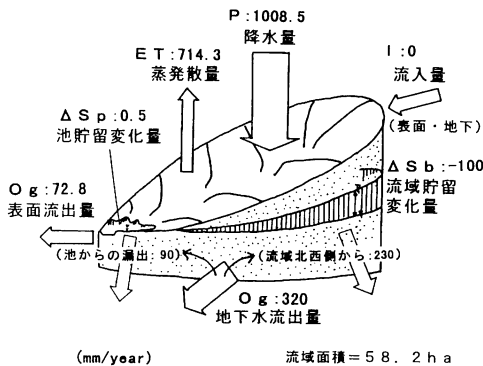
また、第3表の残差に日中と夜間に明確な差異は認められない。池の水収支の項で述べた、ハスの蒸

散量が池の水収支に与える影響が大きいのなら、蒸散の活発な日中の残差は夜間より小さくなるはずである。したがって、ハスの蒸散量は池の水収支を考える上で、無視できる程度の小さな値である可能性が高いといえる。

池からの漏出量のほかに考えられる地下水流出としては、常磐自動車道による台地の切り取り部への流出と北側の桜川低地への流出である。

前者に関して、降雨時・降雨後に常磐自動車道の崖壁から水が浸みだしていることが確認されている。常磐自動車道付近の地下水面標高（第5図：W-1、W-22）をみると、常に北東側のW-1の水面の方が低く、常磐自動車道のある西側に向けて卓越した地下水流動があるとは断言できない。また、常磐自動車道の路面の標高は15から18mで地下水面よりは高い。しかし、現場での観察から、流域への降水のうちのいくらかが常磐自動車道や流域西側に流出しているものと考えられる。

後者については、地下水面標高（第6図）が流域の南側で高く、北側で低いことから十分考えられる。つまり、大池流域においては、桜川の低地に向けて大きな地下水の流動系が存在する可能性がある。流域西側台地への降水は、その一部が常磐自動車道による台地の切り取り部に流出し、地下水面まで達し



第8図 大池流域の水収支(まとめ)

た降水は、大池の存在する東方向ではなく北側の桜川の低地の方向に流出することになる。そのため、大池西側から池への流入は谷地への降水が中心となる。本研究では、大池の流域面積を地形から判断し58.2haとしたが、上述の点から実際の大池の集水域は池の南側が中心で、58.2haより狭い可能性がある。

大池流域の水収支から考えられることをまとめると、流域からの地下水流出量約320mm/yのうち、約90mm/yが大池から漏出し、残りの約230mm/yが流域西側・北西側を中心として流出することになる。したがって、先に述べた低い流出率は地下水流出によって実際の集水面積が狭いこと、池からの漏出があることに起因しているものと考えられる。

山中ら(1996)は、大池において、降雨時の水収支変化を用いて集水面積を解析した。それによれば、対象期間が短かったことを問題としながら、大池の集水面積は10ha程度と推定している。しかし、本研究における研究期間1年間の水収支結果から得られた230mm/yの地下水流出量と1008.5mm/yの降水量から概算すると大池の集水面積は地形的な流域面積(58.2ha)の4/5~3/4程度、つまり、40~45ha程度と考えられる。このように集水面積に大きな違いがでたのは、降雨時には池周辺の狭い範囲(谷部)からすみやかに降水が流入し、その後の乾燥した条件の下では、台地上の広い範囲への降水がゆっくりと降下浸透し、大池に流入してくるためと考えられる。要するに、降雨に対する池水位の上昇には主に谷部への降水が関与し、平常時に大池の水位を維持している基底流入は、台地上への降水が大

きく寄与しているといえる。

第8図にまとめとしての大池流域の年間水収支を模式図で示した。

## 5. まとめ

穴塚大池において、1995年12月から1996年11月の1年間、水文観測等を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 大池からの表流水の基底流出量は1L/sで、流域の水高で表すと0.15mm/dと非常に少ない。
2. 本研究期間における大池水面からの蒸発量は700.7mm/yである。流域からの蒸発散量は714.3mm/yである。
3. 大池流域からは約320mm/yの地下水流出量がある。
4. 大池流域からの地下水流出のうち、約90mm/yは大池からの漏出によるものである。
5. 大池流域からの地下水流出のうち、約230mm/yは流域西側および北西側を中心に流出している。そのため大池の実際の流域面積(集水域)は、58.2haよりも狭く、40~45haと推定される。

しかし、大池の集水域や流域の地下水流動系、また、降雨流出過程など、推測する部分も多く今後の課題である。

## 謝 辞

観測井の掘削や水準測量に暑いなか力を貸してくださった元筑波大学自然科学類地球科学主専攻の糸井博之氏に感謝します。酸素安定同位体比の分析に関してご指導くださった筑波大学地球科学系(現文教大学)の宮岡邦任技官、外国人研究員(現防災科学技術研究所)の宋献方の両氏、主に蒸発散関連についてご助言をいただいた筑波大学大学院地球科学研究科の山中勤氏に深く感謝いたします。

また、観測に関して便宜をはかっていただいた土浦市役所に感謝いたします。

なお、本稿は著者の一人である福田の平成8年度筑波大学第一学群自然科学類卒業論文を骨子とし、加

筆・修正したものである。

#### 文 献

宇野沢 昭ほか (1988) : 筑波研究学園都市および周辺地域の環境地質図説明書. 地質調査所, 139p.

近藤純正・中園 信・渡辺 力・桑形恒男 (1992) : 日本の水文気象(3)ー森林における蒸発散量ー. 水文・水資源学会誌, 5, 4, 8-18.

田瀬則雄・福田正敏・小島 健・辻村真貴 (1996) : 土浦市宍塚大池の水文観測結果について. 筑波の環境研究, 16, 99-106.

筑波大学・土浦市 (1996) : 土浦市宍塚大池地区の自然環境保全と開発との調和に関する研究. 283p.

土浦市 (1994) : 宍塚・大池周辺の自然環境調査に関する地下水等調査報告書.

土浦市企画部 (1988) : 土浦市大池周辺地区土地区画整理事業現況図.

中井信之 (1986) : 地下水研究への同位体の利用. 地学雑誌, 95, 15-22.

山中 勤・嶋田 純・田瀬則雄 (1996) : 土浦市宍塚大池における水収支変化を用いた集水面積の解析. 筑波大学水理実験センター報告, 21, 1-10.

Winter T. C., Rosenberry D. O. and Sturrock A. M. (1995) : Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central United States. *Water Resour. Res.*, 31, 983-993.