

# 出島台地における地下水位の変動と 地下貯留量について

川崎元也・久保田治夫・荒川 稔・鈴木誠治

## On the Variation of Ground Water Level and the Storage of the Underground Water in the Strata of Dejima Plateau

MOTOYA KAWASAKI, HARUO KUBOTA,  
MINORU ARAKAWA and SEIJI SUZUKI

### I. 緒 言

霞ヶ浦の水をポンプ揚水して農業用水に利用することは、霞ヶ浦周辺の台地農業開発に重要な役割を占める。一方地域産業の急速な発展にともない、工業用水、上水道用水等の新規計画が激増し、これらの水需要を霞ヶ浦からのみの取水によって満足させることはきわめて困難となってきた。このため、霞ヶ浦と利根川とを結合して霞ヶ浦調整池利用計画<sup>1)</sup>がとり上げられている。このような霞ヶ浦の高度水利用計画においては、農業用水の還元機構を計画の中に取り入れることが必要である。

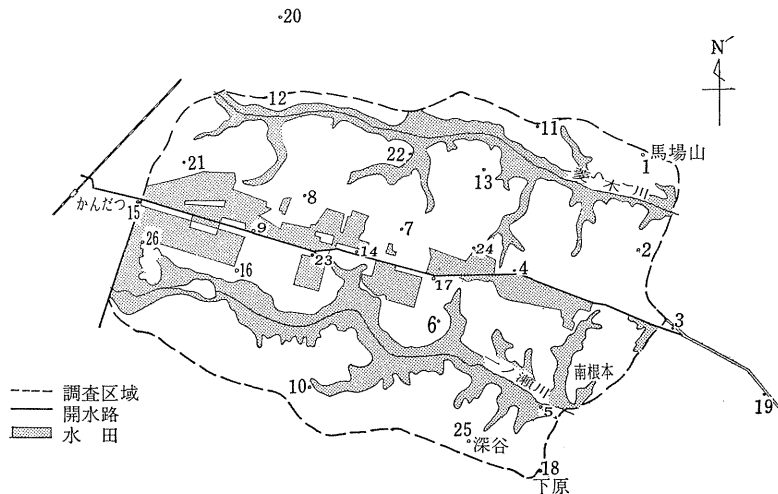
出島台地は、すでに霞ヶ浦からの揚水によって開田されている地域があり、供給された用水が霞ヶ浦に還元さ

れるまでの機構を解明するには適切な試験地であるからこれまでも金子<sup>2)</sup>や野口<sup>3)</sup>らによって調査研究がなされている。昭和43年度の調査にはわれわれも参加し、主として地下水の調査を分担したのであるが、このうちの地下貯留について検討した結果をここに報告する。

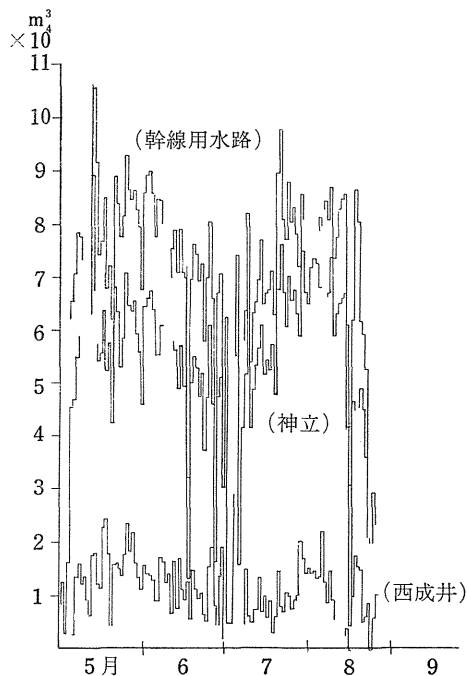
### II. 調査地区の概況

出島台地は霞ヶ浦の北西部に突出した半島状の洪積台地で、その中央部には霞ヶ浦からの揚水により現在約200 haが開田されている。調査地はこの開田地域を中心に1,658 haを選定したもので、南北はそれぞれ一ノ瀬川・菱木川の分水界に境し、西は霞ヶ浦からの用水路に、東は馬場山と下原を結ぶ道路に接している。一ノ瀬

第1図 調査地区平面図



第2図 地区内カンガイ水量



川右岸の面積は 353 ha, 菱木川左岸は 251 ha, 中央台地は 1,054 ha である。台地面の標高は 25~30 m, 一ノ瀬川・菱木川は 8~12 m 程度である。表土は関東ロームからなり透水性が高い。地目は地区面積の 25% が水田で, 残りは畑地と山林, ことに栗林が多い。

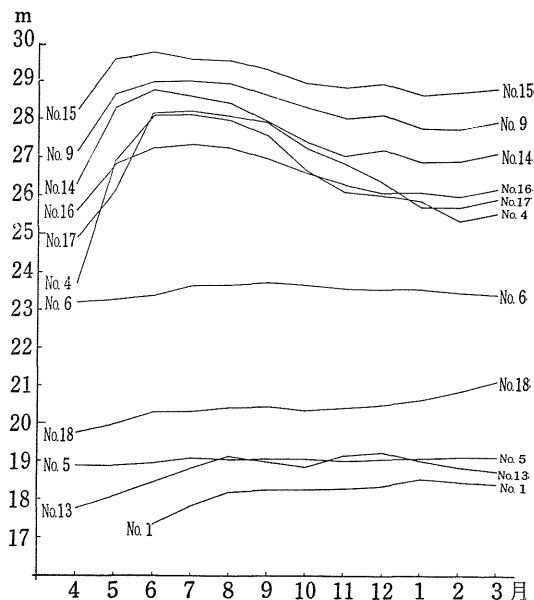
水田のカンガイは例年 5 月上旬に揚水を開始し, 9 月上旬に停止している。昭和 43 年度の用水事情を野口<sup>3)</sup>らの資料から引用して示すと第 2 図のとおりである。この図の幹線用水路流量が地区内全流入分であり, これと神立における流量との差が一ノ瀬川・菱木川沿岸の谷津田および台地の一部に送られるもの, 神立と西成井との差が主として台地上の開田地で使用されたものである。

谷津田はとくに用水源をもたず一ノ瀬川・菱木川の自流を利用していたため, これらの水田では以前しばしばカンバツに見舞われた。しかし, 台地に開田されてからはカンバツは全くみられなくなった。

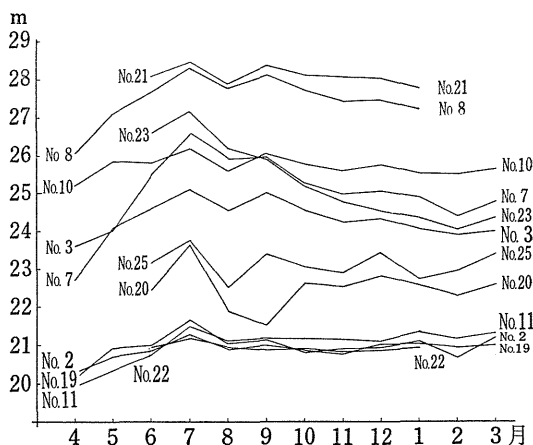
### III. 地下水位の変化

地下水位の観測は, 地区内に散在する農家の井戸を利用し, 日変化を知るための毎日観測点 16 カ所, 全域における変化の大勢を知るための毎週観測点 10 カ所, 計 26 井について実施した。観測井戸の番号と位置を第 1

第3図-1 地下水位の月変化



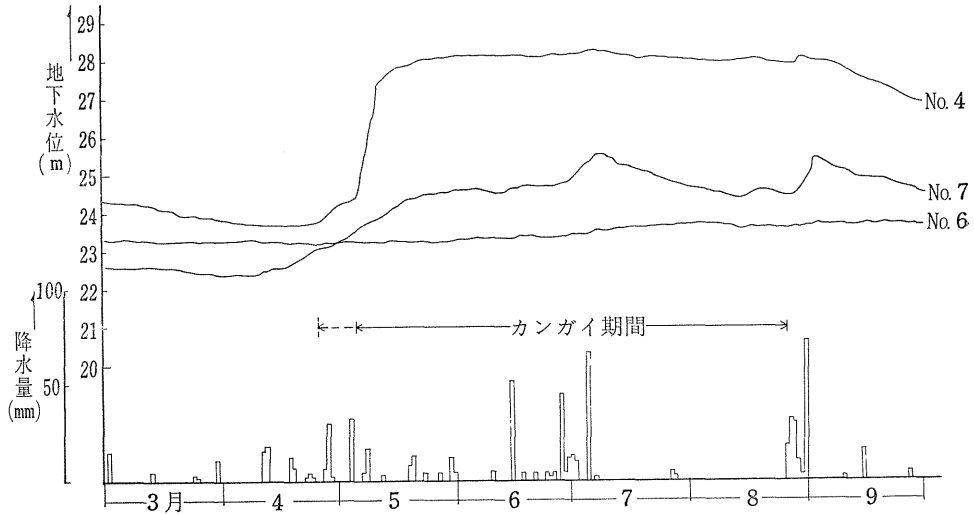
第3図-2 地下水位の月変化



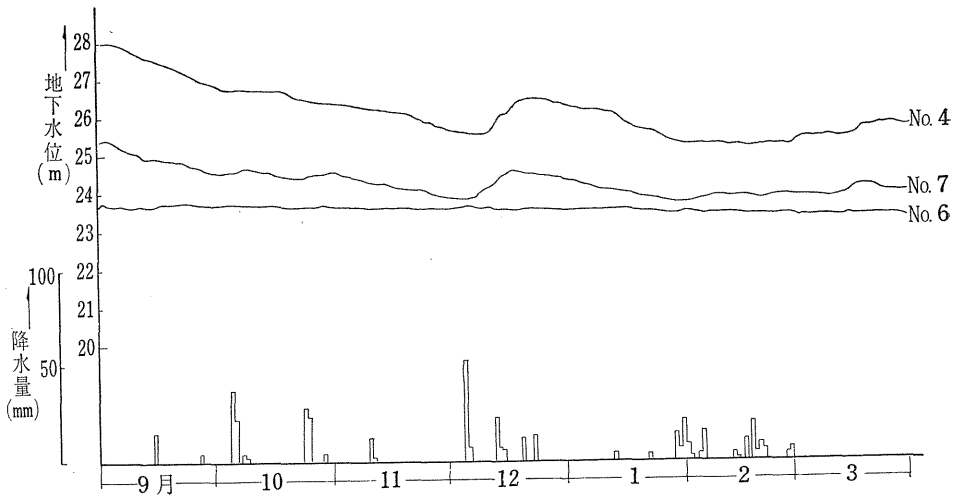
図に示す。一週間ごとの観測値を月別平均で示すと第 3 図のとおりである。

観測井戸の水位は, 井戸の位置, その標高, 周辺の地形, 幹線用水路からの距離, 土層などの関係から, それぞれ特異の変化を示し, これらの諸条件によって揚水や降水の影響を受ける程度が異なる。しかしながら, 大勢としては野口<sup>4)</sup>らも指摘しているように, ①とくに揚水の影響を強く受けるもの ②揚水よりも降水の影響を強く受けるもの ③揚水や降水の影響をほとんど受けないものの 3 種に大別される。各階層を代表する井戸を選び, 毎日の観測値を示すと第 4 図のとおりである。

第4図-1 地下水位の日変化



第4図-2 地下水位の日変化



揚水は4月25日に開始しているが、最初の10日間は主として一ノ瀬川・菱木川沿岸の水田用水にあてられ、台地上の水田に直接多量のカンガイ水が送られてくるのは5月5日からである。前記①、②に属する井戸はいずれも揚水の影響を受けて井水位が増大し、とくに①の場合は急激な上昇をたどり、ほぼ安定を保つようになるのは井戸によってまちまちであるが、5日から約2週間後位のものが多い。カンガイ地域から離れたところでは上昇高も少なく、時間の遅れも著しい。谷津田付近ではほとんど変化なく、年間を通じてほぼ一定である。

揚水の停止は8月26日となっているが、27日から6

日間に159mmの降水があり、この影響で一時的に井水位は上昇している。その後は徐々に低下し始め、11月末ごろまではかなり急に降下して翌年3～4月ごろまで低下し続ける。地下水位の減水速度と時間との関係は  $y = ke^{-bt}$  なる指数曲線式で表わされるとし、毎日観測の井戸について実験式を求めてみると第1表のとおりである。ここに  $y$  は  $t$  日後の地下水面標高を示す。

井戸によって、井水位の最高・最低があらわれる時期は違うが、最低の大部分は3月下旬から4月中旬で18井に達し、1月下旬から2月上旬が4井である。最高は7月初旬から中旬にかけてあらわれるものが15井で過半

第1表 井水位のてい減曲線式

井 No.	実 験 式	備 考
3	$y = 26.42 e^{-0.000943t}$	No. 22 は変動 がいちじるしく 解析不能
4	$y = 27.94 e^{-0.001587t}$	
7	$y = 25.44 e^{-0.001909t}$	
8	$y = 28.46 e^{-0.001127t}$	
9	$y = 29.31 e^{-0.002714t}$	
21	$y = 28.89 e^{-0.002185t}$	
23	$y = 26.72 e^{-0.008726t}$	
24	$y = 27.03 e^{-0.008519t}$	

数を占め、9月初旬の4井が次に多い。変化幅の最高はNo. 4の4.68mで、2m以上に及ぶものは約半数がこれに属している。

26カ所の観測井戸の水位変化幅を大観するため、最高の水位を示すと思われる7月7日と、最低を示すと思われる4月7日の観測値を比較して示すと第2表のとおり

第2表 井水位の変化幅

井 No.	4月7日の水面標高 (m)	7月7日の水面標高 (m)	変化幅 (m)	備 考
1	17.09	17.52	0.43	No.20~26は 43年5月15 日から44年 1月31日ま での記録のみ であるから1 月31日の観 測値をもって 4月7日に代 用した。
2	20.29	21.27	0.98	
3	23.68	26.40	2.72	
4	23.69	28.30	4.61	
5	18.87	19.11	0.24	
6	23.21	23.53	0.32	
7	22.84	26.02	3.18	
8	25.75	28.68	2.93	
9	26.96	29.37	2.41	
10	24.96	26.62	1.66	
11	20.07	21.61	1.54	
12	24.81	26.48	1.67	
13	17.79	18.58	0.79	
14	25.72	28.82	3.10	
15	27.92	29.62	1.70	
16	25.45	27.51	2.06	
17	22.48	26.46	3.98	
18	19.77	20.54	0.77	
19	20.09	21.59	1.50	
20	22.27	23.95	1.68	
21	27.62	28.65	1.03	
22	20.81	21.18	0.37	
23	24.52	26.78	2.26	
24	23.66	26.62	2.96	
25	22.29	24.89	2.60	
26	27.37	28.44	1.07	

である。ただし、No. 20~No. 26は4月中の観測値がないため、昭和44年1月31日の観測値をもって代用した。全域の算術平均変化幅は1.87mであり、中央台地に含まれる18井のみの平均は2.04mである。

#### IV. 地下貯留量

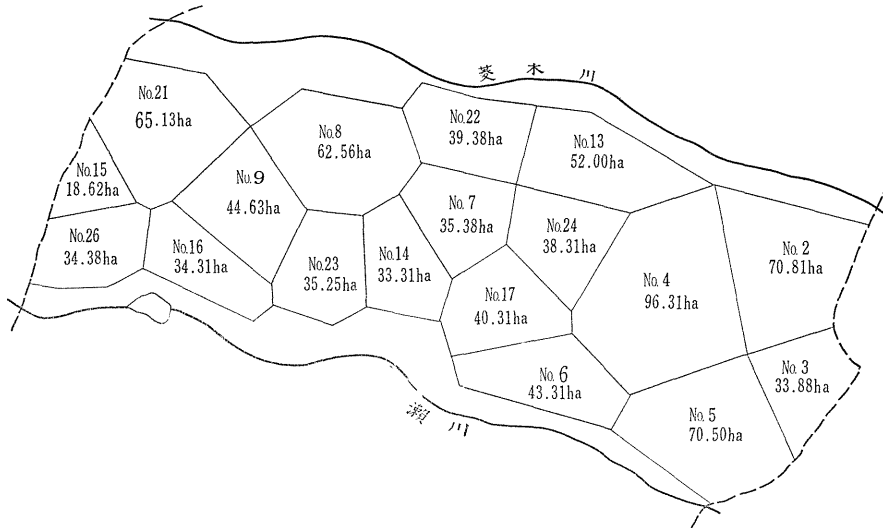
地下貯留量を推定するには、①地下水位の変化と容気率から算定する方法 ②無降雨日の河川流量観測値から地下水の減衰状況を示す係数を求め、地下貯留量を算定する方法などがある。本調査地の地下貯留についても、すでに金子<sup>2)</sup>らが①の方法により、野口<sup>3)</sup>らは②の方法によって検討がなされている。ここでも一応①の方法によることとしたが、容気率の算定にあたり金子らの水収支式を応用するにはまだ解明されていない因子が多いので、この方法については今後の調査に待つこととし、一般に使用されている三相分布から容気率を求める方法を採用した。

まず地下水位の変化であるが、前述したものは井戸のある地点における変化であって、面積を考慮に入れた地下水の変化を考える必要がある。このために次のような手段を講じた。対称地域は一ノ瀬・菱木の両河川によって挟まれた部分1,054haのみを取り扱う。この区域内にある18カ所の観測井戸を結び、ティーセン多角網を作り、各井水位がそれぞれの多角形を支配するものとする。この場合、河川付近の谷津田部には観測井がないため全域を多角網で包むことは困難であるから、谷津田の部分は地形とにらみ合わせながら適当に第6図のようにし、中央の台地の面積を843ha、谷津田部211haとする。

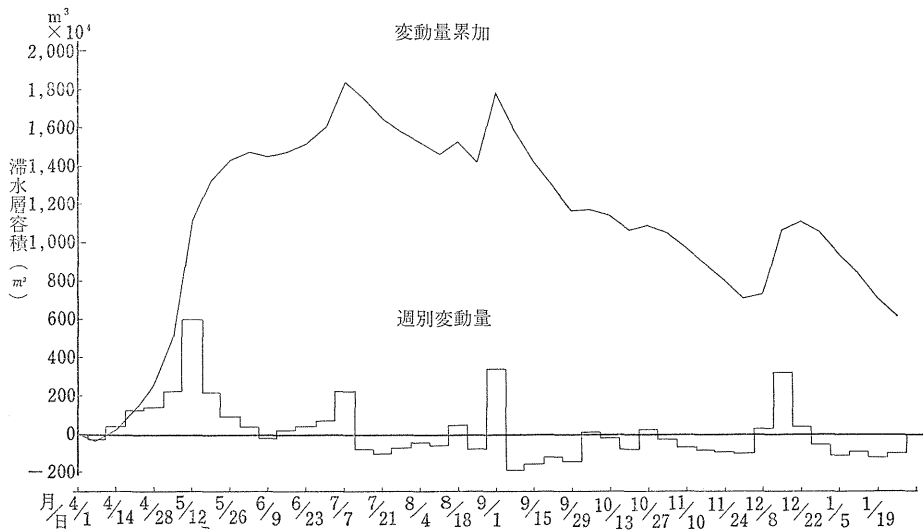
地下水位の観測値は一週間目ごとの刻みとし、この間の水位変動量に多角形の面積を乗じて帯水層の増減状況を調べ、谷津田部を除き累加すると第7図のとおりである。4月7日から貯留量は増加の傾向を示し、カンガイ開始と同時に急増して7月7日に最大となる。その後は降水の影響を受けて一時的な上昇がみられるが、大勢としては減少の傾向を示す。よって、4月7日から7月7日の間に増加した地下水量が最大貯留量であると思なすことができる。このように面積の重みを考慮すると、帯水層の容積変化は1,840万m<sup>3</sup>であるから、地下水位の平均変化幅は2.18mとなる。谷津田部は後述のように平均変化幅が0.35mであるから、全域としては1.81mが平均変化幅であるということになる。

土壌の三相分布は、各井戸近傍でしかも地下水の昇降する範囲内から求めておくのが理想的である。ところが

第5図 地各井戸の支配面積



第6図 帯水層の増減状況



今回の調査はカンガイ期間中に実施した関係上、地下水位はほぼ最上位にあり、目的の深さから自然状態の土を採集することが極めて困難であった。このため、台地部については地層の露出している地点を3カ所を選び、各層の空ゲキ率 (P) および平常保水量容積率 (Mn) を測定し、容水率 (Pa) は  $P - Mn = Pa$  として求めた。この際の平常保水量は PF 1.5 を採用した。調査結果の一例を示すと第3表のとおりである。

次に、各井戸近くでボーリングを実施し、地下水位の昇降する範囲における各土層の厚さと土性を調べ、露頭

の土性に対比しながら各層の容気率を決める。ただし、今回のボーリングに使用したハンドオーガーでは3m以下の深さから採土するのが困難であったため、3m以下の土層については推定にとどめた。各井戸の地下水位変域で土層厚さの重みをつけた平均容気率を求め、18井の算術平均を出すと19.8%となるが、各井戸の支配帯水容積を考慮した場合は、地下貯留量が366万 $m^3$ で帯水層容積が1,776万 $m^3$ であるから20.6%となる。計算の結果を示すと第4表のとおりである。この表における増加帯水層の容積は前述の1,840万 $m^3$ との間に64

第3表 土壌の三相分布調査例(南根本)

土層の深さ (cm)	土 性	真 比 重	仮 比 重	空ゲキ率 (%)	平常保水量 (PF 1.5)	平常保水量 容積率(%)	容 気 率 (%)
0~30	黒色火山灰土	2.63	0.75	71.5	68.1	51.1	20.4
30~110	茶褐色壤土	2.66	0.72	72.9	79.7	57.4	15.5
110~230	茶褐色砂交り粘土	2.72	0.98	64.0	46.5	45.6	18.4
230~350	赤褐色砂土	2.69	1.16	56.9	28.3	32.8	24.1
350~410	黄褐色砂交り粘土	2.70	1.11	58.9	39.9	44.3	14.6
410~530	赤褐色小砂利交り砂	2.69	1.04	61.3	29.5	30.7	30.6

第4表 貯留量の算定結果

井 No.	支配面積 (ha)	地下水位 の変化幅 (m)	平均 容気率 (%)	増加帯水 層の容積 ( $\times 10^4 m^3$ )	地下貯留量 ( $\times 10^4 m^3$ )
2	66.84	0.98	20.9	65.5	13.69
3	31.72	2.72	21.7	86.3	18.73
4	101.72	4.61	23.3	468.9	109.25
5	68.53	0.24	17.1	16.4	2.80
6	42.80	0.32	18.4	13.7	2.52
7	35.84	3.18	19.8	114.0	22.57
8	66.41	2.93	20.2	194.6	39.31
9	43.20	2.41	19.4	104.1	20.20
13	50.10	0.79	23.8	39.6	9.42
14	33.03	3.10	20.1	102.4	20.58
15	18.75	1.70	17.5	31.9	5.58
16	35.36	2.06	21.7	72.8	15.80
17	40.00	3.98	18.4	159.2	29.29
21	64.66	1.03	17.6	66.6	11.72
22	37.92	0.37	22.8	14.0	3.19
23	34.88	2.26	18.4	78.8	14.50
24	37.64	2.96	18.7	111.4	20.83
26	33.25	1.07	16.7	35.6	5.95
計	842.65			1,775.8	365.93

万 m<sup>3</sup> の開きが認められる。したがって平均帯水層の厚さも 2.11 m となり、7 cm ほど少なくなる。これは No. 20~26 の観測値が 5 月 15 日まで欠けていたことに起因したものであり、これからの観測において留意すべきことである。

谷津田部における地下水位の変動は、一ノ瀬川と菱木川の水位変化を参考にして一律に 35 cm と推定される。また地表面から 1.5~3.0 m まではほぼ同一土層であり、地下水はこの部分内を昇降している。表層上の調査結果は空ゲキ率 74.2%、平常保水量容積率 46.8%、容気率 17.4% が平均的値であった。容気率の値は金子<sup>5)</sup>によると 10% 程度ではないかと思われるので、やや大き過ぎる感がある。このことは後程検討するとして、こ

こでは一応この値を使用した。

以上のことから、一ノ瀬川と菱木川に挟まれた 1,054 ha の地域における地下最大貯留量は、中央台地で 366 万 m<sup>3</sup>、単位面積当り 434 mm、谷津田部では 13 万 m<sup>3</sup>、61 mm となり、全域では 379 万 m<sup>3</sup>、単位面積当り 360 mm であると推定される。調査地域全体についても同様な水理地質であるとするれば、面積比率からして 1.57 倍であるから 681 万 m<sup>3</sup> が予想される。しかしながら、一ノ瀬川右岸および菱木川左岸の台地はさほど揚水の影響を受けておらず、地下水の変化幅も少ないから 500~550 万 m<sup>3</sup> 程度ではなかろうかと推察する。この点については 44 年度の調査が目下進行中であるから、その結果を待って再検討したい。

## V. 摘 要

霞ヶ浦から揚水して周辺台地の水田にカンガイすると、台地は一般に地下水位が低く浸透能が大きいため、多量の地下貯留が期待できる。地下貯留された水は、カンガイ終了と同時に徐々に付近の河川に流出し、再び霞ヶ浦に還元される。このことは霞ヶ浦の水の高度利用を計画する上に好都合な性質であり、今後ますます盛んになるとと思われる各種用水の競合において、農業用水のもつ特性として重要な点であると考えられる。

この報告は、昭和 43 年度に出島台地で行なった地下水調査の一部を述べたものであり、地下水の変化およびその変化幅内における容気率を算定し、地下貯留能を求めてみたものである。その結果を要約すると次のとおりである。

1) カンガイ期における地下水位は、用水路からの距離、周辺の地形、土層などの関係により、それぞれ特異の変化を示すが、地区全体としてはカンガイ開始と同時に急激に上昇し、約 2 週間を経過すると上昇速度がゆるやかになり、7 月 7 日に最高を示す。

2) 9 月初旬に揚水が停止されると、地下水位は徐々

に低下し始め、翌年の3～4月ごろまで低下し続け、4月7日に最低を示す。

3) この間における地下水位変化幅の最高は4.61m、最少は0.24mであるが、全域としては平均1.76～1.81mと推定される。

4) 地区を台地部と谷津田部に分けてみると、地台部における地下水位の平均変化幅は2.11～2.18mであり、容気率は20.6%である。谷津田部は変化幅が0.35mで、容気率は17.4%である。

5) これらのことから、一ノ瀬川と菱木川に挟まれた1,054haの地域における地下貯留能は約380万m<sup>3</sup>で、単位面積当りでは360mmが貯留されるものと推定された。

最後に本調査を行なうに当たり、終始御鞭撻をいただ

いた教育大学野口正三教授ならびに千葉大学関口有方教授に厚く謝意を表します。また地下水位の観測記録は、関東農政局利根川水系農業水利調査事務所からの提供を受けたことを記し謝意を表します。

## 文 献

- 1) 西口 猛・前田 修・池田 実：農土誌，33 (12)，555 (1966)
- 2) 金子良・丸山利輔：農土試報，No. 5，49 (1967)
- 3) 野口正三・桑原英夫：昭和44年度農業土木学会講演会講演要旨，p. 129 (1969)
- 4) 関東農政局利根川水系農業水利調査事務所：出島台地の還元水調査報告書 (1969)
- 5) 金子 良：農業水文学，p. 34 (1957) 土木雑誌社

## Summary

When on the plateaus around Kasumigaura lagoon the paddy fields are irrigated by pumping from the lagoon, the water level of the plateaus rises rapidly and soon becomes to a constant value. When the irrigation is stopped, the water level decreases slowly and the decrease is maintained till March or April next year. Then the groundwater which is discharged to the rivers is restored by Kasumigaura lagoon. This mechanism is convenient for effective utilization of water from the lagoon.

This report is that in 1968 we investigated the water level variation and the groundwater storage on Dejima plateau which is one of the surrounding plateaus around the lagoon.

The results were as follows:

- 1) The water level is raised to maximum on July 7 and is minimum on April 7.
- 2) The range of water level (the different between April 7 and July 7) is 2.11 m in the area of the plateau and is 0.35 m in the area of the paddy fields low-lying valley bottom.
- 3) In the layer where water level changes in the area of the plateau the mean aeration porosity is 20.6% and in the area of the lowlying paddy fields is 17.4%. Therefore the groundwater storages are 434 mm and 61 mm in height, respectively.
- 4) The storage volume of groundwater in the investigated area which is 1,054 ha in area is  $3.79 \times 10^6 \text{ m}^3$  (made up  $3.66 \times 10^6 \text{ m}^3$  in the area of the plateau and  $0.13 \times 10^6 \text{ m}^3$  in the low-lying paddy fields). It equals to 360 mm in height.