霞ヶ浦北岸台地、出島地域における 地下水流動系の解析(第一報)*

岡崎浩子**・石川 力***・新藤静夫****

Study on Groundwater Flow System in the Dejima Area, the North Kasumigaura Upland (1)

Hiroko OKAZAKI**, Tsutomu ISHIKAWA***, and Shizuo SHINDO****

Recently, attention has come to be paid to groundwater contamination caused by human activity. To cope with the problem, we must obtain the more detailed informations about groundwater-bearing condition and its flow system taking long strides from the conventional way of thinking.

The distinguished mark of this study is the application of the sedimentary facies analysis to specify the groundwater system of the study area.

Analysis shows that there are three facies to devide the groundwater and the characteristics of the groundwater flow is limited by the sedimentary facies and structure.

On the basis of the facies analysis, the tracing of groundwater is carried out at the several plots using electric conductivity method. As a result, it is clarified that the velocity and direction of groundwater vary with the season, topographic locality and sedimentary horizon of groundwater.

I はじめに

研究の中心もそれに関連したものが多くなされてきたが、最近、地下水の汚染問題が社会的に大きくなりあげられるようになるに従い、物質の運搬者として地下水は、これまでその資源的側面が強調され、

*この研究は昭和58年度文部省科学研究環境科学特別研究(課題名「地域環境要因としての地下水」代表梶根勇(筑波大学))で支給された助成金をあてて進められたものである。

**筑波大学環境科学研究科院生(現 清真学園) The Master's Degree Program in Enrironmental Sciences, the University of Tsukuba(Present: Seishin Gakuen School)

***筑波大学環境科学研究科院生 The Master's Degree Program in Environmental Sciences, the University of Tsukuba

****筑波大学地球科学系 Institute of Geoscience, the University of Tsukuba

ての側面が目されるようになった。

この場合、流動系中での汚染物質の挙動の解明のためには地下水の動態をこれまで以上の精度で把握することが必要である。筆者らは、このような観点から、霞ヶ浦北岸の出島台地を研究フィールドとしてとりあげ、物質の運搬者としての地下水の動態を次の2段階に分けて追求している。

(1) 地下水系を区分する単位の水文地質条件と地下水の賦存状況

(2) 上記によって区分された地下水系ごとの地下水の動態

第一段階として露頭地質調査にもとづく堆積相解析を行ない、堆積相の分布と変遷を明らかにしている。また、第二段階として各堆積相ごとの水理特性を調べるほか、トレーサー法による地下水追跡試験を一部で予想的に実施している。

今回発表するのは現在継続中の研究の一部であ

る。今後の研究のために種々御教示いただければ幸いである。

II 堆積相と水文地質特性

1. 堆積相の区分

出島台地は標高25~27mの比較的平坦な台地で、一ノ瀬川や菱木川等の沖積低地で北西-南東方向に開析されている。この台地は、後期更新統下総層群上部の地層から成る(青木・馬場、1979)。この地域の層序学的研究は、真野(1964)、大森ほか(1972)、青木・馬場(1977)、青木・馬場(1979)等がある。青木・馬場(1979)によれば、出島台地では、下位より地蔵堂層・成田層(清川部層・上岩橋部層・木下部層)・竜ヶ崎層・板橋層に区分されている。これらの地層は下位から上位へ、大きくは浅海域から陸域にかわる古環境下で形成されたと考えられている

図-1 調査露頭位置

Fig. 1 Map showing locality of the investigated outcrops.

が、同一時間面であっても堆積場が異なれば層相も異なるので、物質運搬者としての地下水の動態を追跡する立場からは、層相層序にもとづいて区分しながら最終的には時間層序区分というかたちでまとめられたこれらの結果は、そのままでは利用上に限界がある。そこでここでは、堆積相による区分を重視する立場をとった。図-1の地点において露頭観察にもとづいて堆積相解析を行った。堆積相解析とは、各露頭において、岩相・粒度・堆積構造・組織・色調・基底面形状・重なり様式・分布・連続性・化石(貝・生痕・珪藻等)等の詳細な観察から、特徴的な堆積相を識別し、それらの堆積相の分布・垂直的变化と現世および地質時代の堆積物との比較検討から、堆積相の堆積場を推定するものである。この地域を含めた堆積相の研究は、岡崎・増田(1981)、増田・岡崎(1983)があるが、出島台地についての詳細は、未報告である。今回、識別された堆積相はつぎのようである。区分は、増田・岡崎(1983)に従った。

1) 溺れ谷埋積相

分級の悪いシルト～細粒砂層からなる。生物擾乱が著しい。最下部には細礫～中礫などが認められ、全体的には上方にわずかに細粒化する、最下部にはレンティキュラー・ベッディング(lenticular bedding)がみられ、多数の管状棲管が発達する場合がある。下位の地層とは侵食面をもって接する。崎浜(Loc. 12, 図-1・図-4)で特徴的に認められる。霞ヶ浦東岸や霞ヶ浦東方の千葉県印旛沼地域では、この堆積相からなるチャンネル状の形状が見られる(岡崎・増田、1981)。厚さ1.5m～4m。成田層に認められる。

2) 三角州前面相

含貝化石細粒～中粒砂層。分級は比較的良好。貝化石がトラフ型斜交層理や低角の斜交層理をなす場合がある。これらは下位の溺れ谷を埋積した三角州の本体の堆積相であって、斜交層理は三角州前置面を示すと考えられる(Masuda & Okazaki, 1983)。

有河(Loc. 72, 図-1)で典型的に見られる。最大層厚8.5m。成田層に認められる。

3) 中部沖浜相

分級の良い極細粒～細粒砂層。平行層理、低角のくさび状斜交層理およびリップルラミナが認められる。これらは沖浜に発達する沿岸州の堆積物と考えられる。すなわち平行層理および低角の斜交層理は沿岸州の移動の際に形成され、その上位のリップルラミナは波によって形成されたと考えられる。柏崎(Loc. 8, 図-1)等で見られる。最大層厚9m。成田層に認められる。

4) 上部沖浜相

細粒～粗粒砂層。トラフ型斜交層理が発達し、貝化石の破片を含むことがある。90°あるいは180°の違いを示す2方向の古流向を示すことが多い。下位の中部沖浜相と漸移する。リップルカレントや潮流によって堆積したものと考えられる。崎浜(Loc. 12)などで見られる。最大層厚4.5m。成田層に認められる。

5) 前浜相

細粒～中粒砂層からなる。砂鉄質の平行層理で特徴づけられる。潮間帯に生息するヒメスナホリムシの生痕化石(菊地、1972)が顕著に認められることが多い。低角(5～10°)な平行層理は前浜の初生的な傾きを示すと考えられる。下位の上部沖浜相とは漸移する。沖宿(Loc. 13, 図-1・図-4)等に認められる。最大層厚3.5m。成田層に認められる。

6) 後浜相

中粒～粗粒砂層からなる。異地性の貝化石の密集で特徴づけられる。トラフ型斜交層理が認められる。下位の堆積相とはシャープに接する。木田余(Loc. 152, 図-1・図-4)等で見られる。厚さ0.5～2m。成田層に認められる。

7) 内湾～湖相

極細粒～細粒砂層と泥層の薄い互層。ウェーブリップルラミナが顕著に発達する(増田・岡崎、

1983)。海棲の珪藻化石を産出する。この相が厚く発達するところでは、下部は塊状となり、自生の二枚貝化石を産する。崎浜(Loc. 12)、羽成子(Loc. 29・30、図-1)等で発達する。厚さは1～7.5m。成田層に認められる。

8) 潟～沼沢地相

分級の悪い青灰色～灰色泥層。この相が厚く発達するところでは、極細粒～細粒砂層とシルトの互層。シルト層が逆級化層をなすことがある。生物擾乱が激しく、また植物片を多量に含む。泥炭質になっている場合もある。チャンネル状の堆積様式を示し、下位の堆積相とはシャープに接する。木田余(Loc. 152)で見られる。厚さは0.5～4m。成田層に認められる。

9) 河川の突州相

極細粒～極粗粒砂層からなる。基底部には細礫～中礫を含む。トラフ型斜交層理が顕著に発達する。これらの波長と波高は粒度とともに上方に小さくなる。さらに特徴的なイブシロン型斜交層理が見られる(牧野ほか、1981; 増田・岡崎、1983)。下位の地層とは著しい侵食面をもって接する。最下部に灰白色の特徴的な火山灰質の細粒～中粒砂をはさむことがある。古流向は90°～180°にばらつくがほぼ一方向流れを示す場合が多い。このようなトラフ型斜交層理は河川の流路内に形成され、上方細粒化は流路の側方移動によって形成されたと考えられる。木田余(Loc. 152)、東前野(Loc. 66、図-1)をはじめ広い範囲で見られる。厚さは2～3m。竜ヶ崎層に認められる。

10) 河川の自然堤防相

粘土層と細粒砂層の互層からなり、逆級化層(伊勢屋、1982)がしばしば認められる。植物片を多く含み、下位の突州の堆積相と漸移する。木田余(Loc. 152)等広い範囲で見られる。厚さ1m。竜ヶ崎層に認められる。

11) 河川の氾濫原相

塊状灰色粘土～極細粒砂層。浮石質で、植物片が多い。茎や根の痕が認められる。下位の自然堤防相と漸移する。木田余(Loc. 152)等広い範囲で見られる。厚さは1～2m。板橋層に認められる。

12) 風成相

塊状で分級の良い細粒砂層。かたく締った特徴的な灰色～黒灰色砂層。これは“カタズナ”と呼ばれるものに似ている。河岸砂丘の堆積物と考えられる。厚さは0.5～1m。木田余(Loc. 152)などで見られる。武蔵野ローム層の基底部に認められる。

2. 堆積相の分布と変遷

1) 成田層堆積時

a. 出島台地南部地域

谷地形を埋積したと考えられる分級の悪い泥質の溺れ谷の堆積物が認められ、その谷の深く削りこんだところでは引きつづき厚い三角州の前面の堆積物が堆積している。その上位には湖～内湾の泥層が全域に広がり、そのうち中部沖浜～上部沖浜～前浜の砂質堆積物が漸移して堆積し、上位へ向ってより浅い堆積物が堆積している。最上部では潟～沼沢地の泥層がところどころに認められる。

b. 出島台地北部地域

厚い泥層が広く発達していることから、堆積前の地形が南部地域に比べて盆状で深かったと推定される。そこに塊状泥層ないしは砂泥互層による溺れ谷の堆積が進み、上位に内湾～湖の砂泥互層が連続的に堆積した。そしてその上位には砂質の沖浜堆積物が堆積している。

c. 出島台地東部地域および西部地域の一部

他地域で見られる特徴的な湖～内湾の泥層が見られず、中部沖浜堆積物の砂層が厚く発達する。さらに上位に上部沖浜堆積物が他に比べて厚く堆積し、貝殻片を多く含む特徴が見られる。前浜堆積物の発達は乏しく、潟～沼沢地の堆積物が認められる。他地域に対して相対的な高まりを形成していたと考えられる。

位の砂質の風成堆積物(厚さ3～4m)を帯水層とする地下水の不透水層となっている(以下不透水層Ⅲと称する)。

4. 不透水層の高度分布

台地の地下水調査に際して調査対象とする井戸の地下水が上記に区分した地下水系のどれに相当するかをあらかじめ判断しておくことは、地下水面図の作成といった基本的な作業をはじめとして、地下水の流動調査や水質調査の進め方、そして結果の解析の際に重要である。そこでその判断基準を得るため、露頭の水準測量を実施し、不透水層の高度分布を求めた。

図-3は一部井戸資料を加えて描いた不透水層上面の標高の頻度分布図である。図示のように標高12～13mおよび14～15mをピークとする下位の2つの山が不透水層Ⅰ、標高18～19mをピークとする中位の山が不透水層Ⅱに、標高21～22mをピークとする上位の山が不透水層Ⅲに相当すると考えられる。

図-3 不透水層の標高頻度分布

Fig. 3 Frequency distribution of altitude of the main impermeable layers.

この結果と調査地域の井戸分布から、最下位の不透水層によって規定される地下水は、主として、一ノ瀬川の低地と湖岸沿いの谷頭斜面部で利用され、中位の不透水層によって規定される地下水は菱木

川、一ノ瀬川流域の谷頭斜面部と台地表面上で利用されていることがわかる。さらに最上位の不透水層は台地中央部地域のごく浅い地下水の不透水層となっており、台地中央部地域の地下水利用と利用にまつわる問題に重要なかわりを有していることが理解される。特に出島用水沿いでは最上位の地下水を利用する井戸が数多く分布しているのが注目され、これと用水が密接に関係していることが推察できる。

5. 出島台地における地下水の特徴

以上の結果から推定される出島台地の地下水の特徴をまとめるとつぎのようになる。台地面に供給された降雨浸透水あるいは灌漑水はまず河川氾濫原相の泥層上に貯留される。この泥層は比較的連続して堆積していることから、この上にのる地下水は当地域のどこにでも存在しうが、泥層の厚さが1～2mと薄いことから、より深部への水の浸透を容易にしていることが考えられる。加えて台地を刻む谷地田の水源は、この層準から浸出するものが多いことから、年間を通して安定した地下水が存在しているわけではない。時期により、また地域によっていわば宙水のようなかたちで存在している場合も考えられる。

この下位の不透水層は先にも述べたように不連続に、レンズ状に堆積しており、かつ起伏が激しいことから上位の河川相中の地下水の存在様式はかなり複雑なものとなっていることが考えられる。不透水層の高度が大きくは南東部方向に増す一方、北西部地域では本層が分布していないことから、台地の地形の傾向とは必ずしも一致しない方向への地下水の流れがあることを念頭に入れておく必要がある。この不透水層の発達状態からみて、上記の地下水と同様に宙水的な性格を有していると考えられる。

この地域のいわゆる本水とも呼べるような地下水は広く水平的に分布している内湾～湖相の砂泥互層からなる地層の上に帯水しているといえる。この地層の上面高度は場所によっては菱木川あるいは一ノ

図-4 透水係数試料採取箇所

Fig. 4 Columnar sections showing sampling points for measurement of permeability.

瀬川の低地の高度とほぼ等しいか低いところにあるので、このようなところでは地表水と連絡している可能性がある。

6. 堆積相と透水性

堆積相ごとの透水性を調べるために、土浦市木田余 (Loc. 152)、土浦市沖宿 (Loc. 13)、土浦市手野 (Loc. 151)、出島村崎浜 (Loc. 12)、の各露頭 (図-1) において、1 点につき水平方向と垂直方向の 2 方向の不攪乱試料を採取し、室内透水試験によって透水係数を算出した。サンプリング箇所とその番号は図-4 に示した。

堆積相-平均粒径-透水係数の関係を図-5 に示す。この図で注目すべき点は同一平均粒径にあっても堆積相による透水係数の違いは 2 桁にもものぼるこ

とで、この場合溺れ谷埋積相 (DV)-潟-沼沢地相 (MH)-沖浜相 (MS・US)、前浜相 (FS) の順に大きくなっている。この関係は透水係数を支配する細粒物質の混入の割合が、上記の順に小さくなっていることのほかに、堆積環境や堆積してからの経過時間によるパッキングや膠結の効果が影響していることも考えられる。

河川相 (PB) の透水係数は 10^{-2} cm/s 以上のオーダーで他に比べて一般に大きい値を示していることが注目される。

さて、先に区分した地下水系ごとにその地下水の流動特性を検討する場合、各堆積相に特有な堆積構造がその水理特性の上にかに反映しているかを知っておく必要がある。ここではこれを堆積構造ご

図-5 透水係数と粒径

PB：河川の突州相 (Point Bar), BS：後浜相 (Backshore),
US：上部沖浜相 (Upper Shoreface), FS：前浜相 (Foreshore),
MS：中部沖浜相 (Middle Shoreface), MH：潟-沼沢地相 (Marsh),
DV：溺れ谷埋積相 (Drowned Valley), E：風成相 (Eolian)

Fig. 5 Relation between grain size and permeability

との透水性の異方度としてまとめてみた。異方度は、次式によって表現する。

$$\text{異方度} = \frac{\text{水平方向の透水係数} - \text{垂直方向の透水係数}}{\text{水平方向の透水係数}}$$

異方度が大きいほど、透水性の異方性が大きい。

図-6に示したように異方度の平均値としては、風成相(E)の塊状無構造-沖浜相(MS・US)、前浜相(FS)の低角くさび状斜交層理-沖浜相(US)、後浜相(BS)、河川の突州相(PB)のトラフ型斜交層理-溺れ谷埋積相(DV)、潟-沼沢地相(MH)の分級の悪い生物擾乱の激しい塊状相の順に大きくなっているのがわかる。また、河川の突州相、後浜相、溺れ谷埋積相、潟-沼沢地相等の異方度の大きいグループでは、溺れ谷埋積相を除いて、異方度になんかの幅が見られることにも注目する必要がある。つまりこのグループは、異方性を有するとともに、不均質であることを意味している。なかでもこの地域

図-6 異方度と堆積相

Fig. 6 Relation between sedimentary facies and permeability.

の地下水利用のおもな対象となっている竜ヶ崎層相当層の河川の突州相(PB)の異方度が比較的大きくかつその値に幅があることから、この層内での地下水はかなり複雑な挙動をすることが予測され、地下水の動きを追跡する場合、こうしたことにも充分留意する必要があることを示している。

Ⅲ 地下水流動調査

1. 調査の主旨

出島台地の、特に表層部の地下水の実態は降雨浸透という自然的要因だけでなく、灌漑水の導水、落水といった人為的要因によっても大きく変化し、それとともに地下水の存在場としての水文地質の条件が変わってくるので、そこでの水質形成機構や物質の運搬機構を解明するためには、これらの外的、内的条件の変化に対応した地下水の動態を把握しておく必要がある。そこでこれらのことを検討するため、図-7のように試験地を設定し、既設の井戸の他に観測井を多数掘削し、地下水位、地下水質(主に電気伝導度)の定期観測(1月に1回の割合で実施)、地下水位の自記記録、図示の地点においての地下水の流向流速測定を行った。

本論で取り扱っている地下水は先に区分した地下水系のうち、中位の不透水層により規定されているもの、つまり竜ヶ崎層相当層に存在する地下水である。それはすでにふれて来たように、この地下水が当地域の利用のおもな対象となっていることと、農畜産活動や日常生活に起因する地下水の汚染とその流動、流出といった問題に直接かかわっているからである。

2. 試験地の概要

地下水の質的、量的供給源としての出島用水と流出地域としての谷地田湧水地を含み、かつ詳細調査に適した規模の流域として図-7の南野地区を選択した。またこれと比較するため、同じ図に示した三

図-7 流向・流速調査地区

Fig. 7 Map showing test field for study on groundwater flow.

三ツ木地区を定点観測地とした。南野地区の地下水面図とその断面を図-8に示す。灌漑水が導水される夏期と冬期の地下水位差は、全体として用水路で大きく(平均2.5m、最大3.5m)、その他の地域では小さい(1.2~1.5m)。しかし図示の地下水面のかたちは大きくは変わらない。すなわち、図の中央部に地下水面の高まりがあり、地区の北部と南部に認められる谷地田付近で動水勾配が大きくなっている。これらと図に添えた地質資料およびこれまでに述べて来た出島台地の水文地質的背景から、つぎのことが推定される。

(1) 夏期では地下水面が上昇して、関東ローム層に帯水する地下水と下位の地層に存在する地下水が連続する。

(2) 冬期では地下水面が低下し、関東ローム層中の地下水は涸渇する。しかし場所によっては関東ローム層下の不透水層(河川相の氾濫原相、不透水層—

Ⅲ、いわゆる常総粘土層)の上にいわば宙水のようなかたちで地下水が残存する可能性はある。

(3) 上記にかかわらず、台地周辺部の排水域では地下水面は常に関東ローム層の下にある。

(4) 地下水面の位置が地域により、また季節により異なる層準の地層にまたがって変化し、かつそれらの地層の異方性、不均質性が大きいことから考えて、地下水の挙動は時間的にも空間的にも一様ではないことが予測される。

3. 流向・流速の測定

1) 測定要領

上記の事実を考慮し、測定はつぎの要領で進めた。

a. 測定点について

地下水面の尾根状部、地下水の流出地域、その中間地域の3地点を選択した。

b. 測定時期について

地下水位の高い夏期と、低い冬期の2時期に実施した。

c. 帯水層の層準による流向、流速分布

複数層準での同時測定によった。

2) 測定方法

a. 観測井

地下水面のかたちから、あらかじめ流向を推定し、その方向を考慮して図-9のように観測井、トレーサー投入井を設置した。井戸はオーガーにて掘り、掘削後75mm口径塩ビパイプを挿入し、そのあとポンプによる強制排水を繰り返して井戸を洗浄した。

b. 測定

トレーサーとして食塩を用い、検出は電気伝導度計を用いた。出力は打点記録計にて連続記録した。投入井と観測井の距離が短いため、食塩水投入による水位変化を避けて、ここでは投入時にあらかじめ設置しておいた水中ポンプを回転させ、孔中で食塩を溶かす方法をとった。

3) 測定結果

図-10に測定例を示す。なおここでの流速とは実

図-8 (a) 詳細調査地区の地下水面図(指示箇所は流向流速定点)

Fig. 8 (a) Groundwater table map in the test field.

図-8 (b) 詳細調査地区の地下水断面と地質

Fig. 8 (b) Cross section of geology and groundwater table in the test field.

図-9 流向・流速測定用の観測井の配置

Fig. 9 Arrangement of the observation wells for measurement of flow direction and velocity of groundwater.

流速のことで、ここでは投入井と観測井間の距離をトレーサー投入時点から電気伝導度が最大値を示した時点までの時間で割った値とした。

a. 地下水流速の地域による違い

当然のことであるが、地下水の流速は地下水面上の分水界に近い台地中央部寄り遅く、台地を刻む

図-10 トレーサー投入後の電気伝導度の経時変化

Fig. 10 One example of change of electric conductivity of the observation well with passage of time after adding salt into the injection well.

谷地田の排水域に近くなるに従って速くなる。前者の例で三ツ木地区の場合、高水位期で0.7~1.8m/d、後者の例で南野地区で12.6m/d、中間地区の例で南野地区の場合、1.1~1.2m/dとなっている。

b. 地下水流速の層準による違い

図-10に例示したように、時期、地域の違いにかかわらず、下位の層準の地下水の流速が速い。またピーク時の電気伝導度の値が上位の層準に比べて高

いことから、地下水の流れは水平ではなく、下向きの成分が強いことが推察される。

c. 地下水流速の時期による違い

地下水位の高い夏期と地下水位の低い冬期で流速に極端な相違が見られる。この傾向は、夏期と冬期の水位差が大きい台地中央部の地下水面の尾根状部あるいは地下水堆状部で著しくなるように思われる。三ツ木地区の例では0.7m/d(夏期)から0.08m

／d(冬期)に減少した。台地端部に近い排水域でも南野地区では12.6m／dから8.4m／dに低下した。灌漑水の落水に起因する地下水位低下によってもたらされた動水勾配の減少あるいは主な地下水層の層準の変化が影響し、また関係していると考えられる。

d. 地下水の流向について

測水調査によって得た地下水断面図から推定される流向とおおむね一致するものの、南野地区のように必ずしも一致しない例も示されている。また三ツ木地区のように夏期と冬期で流向が変化した例もある。ここでは流向が南南西から南南東方向に変化し、とくに注目された。これについても上述のように灌漑水の導水という人為的な要因のほかに、時期によって地下水が存在する層準が変化したためと考えられ、今後の検討課題といえる。

IV おわりに

地下水に対する人為的インパクトが増大するにつれて、地下水現象のうちどこまでが自然的要因で、どこまでが人為的要因によるものかを区別するのが難しくなる。それは一つには水文地質条件が地下水現象にどのようにきいているかをスケールの問題とともに具体的に把握するのが難しいためである。物質の運搬者としての地下水の存在状態を明らかにする立場からはこの点はどうしても解決しておくべきものである。

一方従来の水文地質学の研究ではその単元のとり方は時間層序区分を基調としてなされた層序に従っていることが多く、上述の問題に対処するためには不足する点が多い。このような背景から、今回の研究では堆積相解析にもとづく堆積相の区分を重視して来たわけであるが、ここでなされた地下水系の区分が具体的に地下水の存在にどのようにかわっているのか、まだ検証しているわけではない。このあたりが今後の課題である。

つぎに検証できたとして、このようなオーダーでの地下水の動態がつぎのステップ、すなわちより細かいオーダーでの、層相と地下水の動態の関係といった問題とどのようにつながるのかを明らかにすることが残される。さらにこのような問題に対して人為的要因がどこまで、またどのように影響するのかも明らかにする必要がある。今後はこの方向に視点をおいて追求してゆく予定である。

謝辞

堆積相解析に際しては筑波大学地球科学系増田富士雄講師に御教示いただいた。また現地調査にあたっては同田瀬則雄講師をはじめ、筑波大学環境科学研究科の学生諸君に御助力いただいた。これらの方々に深く感謝申し上げる。

参考文献

- 青木直昭・馬場勝良(1977): 茨城県南西部の竜ヶ崎層. 筑波の環境研究, 2, 114~120.
- 青木直昭・馬場勝良(1979): 霞ヶ浦-北浦地域の下総層群. 筑波の環境研究, 4, 186~195.
- 伊勢屋ふじこ(1982): 桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理評, 55, 579~613.
- 大森昌衛・真野勝友・菊地隆男(1972): 常総台地の成田層の形成史-とくに霞ヶ浦・北浦の成因に関連して-. 地質学論集, 7, 145~152.
- 岡崎浩子・増田富士雄(1981): 茨城県南部~千葉県北部地域における“古東京湾”末期の堆積相. 日本地質学会演旨
- 菊地隆男(1972): 成田層産白斑状化石生痕とその古地理的意義. 地質雑, 78, 137~144.
- 新藤静夫・田瀬則雄(1981): 出島台地の地形・地質・地下水. 霞ヶ浦地域研究報告, 2, 77~87.
- 牧野泰彦・増田富士雄・桂 雄三(1981): 河川堆積物から推定した“古流路”の形状特性値と水理量-茨城県の第四系を例として-. 茨大教育学部紀要, No. 30, 71~86.
- 増田富士雄・岡崎浩子(1983): 筑波台地およびその周辺の第四系中にみられる方向を示す構造. 筑波の環境研究, 7 C, 99~110.
- 真野勝友(1964): 成田層の層相と下底の地形との関係-霞ヶ浦北岸および北浦周辺の第四紀. 地質雑, 71, 155~165.
- Masuda, F. and H. Okazaki (1983): Two types of prograding sequence developed in the late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, No. 9, 56~60.

(受付: 1984年5月10日, 受理: 1984年8月4日)