

出島台地における地下水水質の年変化パターン

Annual Variation Patterns of Groundwater Quality in the Dejima Area.

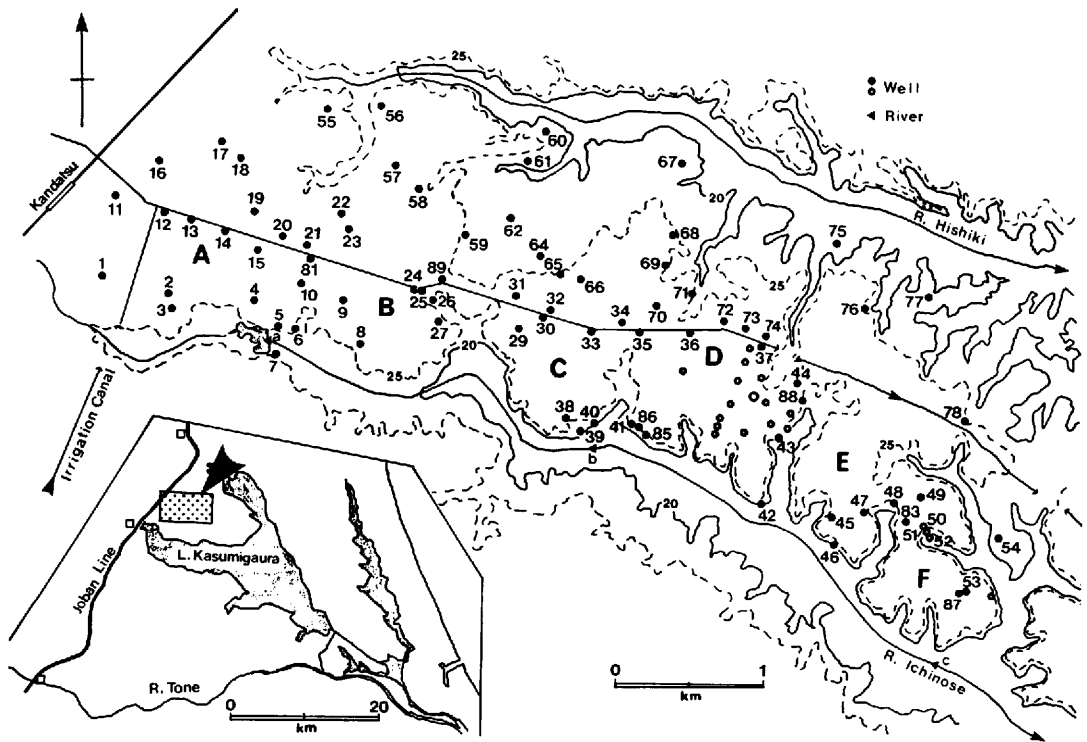
倉田 文*・田瀬 則雄**・榎根 勇**

Fumi KURATA, Norio TASE and Isamu KAYANE

I はじめに

近年、湖沼の富栄養化が問題化し、その要因の一つとして耕地からの栄養塩類の流出など農業活動の水系に対する影響が注目されている。しかしそれらに関する研究の多くは農地における物質の

インプットと河川でのアウトプットの比較により結論を導びいており(たとえば、田淵ほか, 1975)、野外における地中での過程に関する研究は数少ない。そこで本研究では典型的な農業地域である茨城県出島台地を調査地域として、浅層地下水の水質を測定し、種々の農業活動が地下水水質におよ



第1図 研究地域図

* 筑波大学・院・環境科学研究科(現 国立公衆衛生院・研)

**筑波大学地球科学系

(1984年6月4日受理)

ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II 調査地域および方法

1) 調査地域

出島台地は茨城県霞ヶ浦の北西に位置し、南関東の下木吉面に相当する洪積台地である(新藤・田瀬, 1981)。台地内は霞ヶ浦に流入する菱木川、一ノ瀬川の2河川による開析が進み、谷が樹枝状に発達している。この2河川に挟まれた台地上の一部を調査地域とした(第1図)。

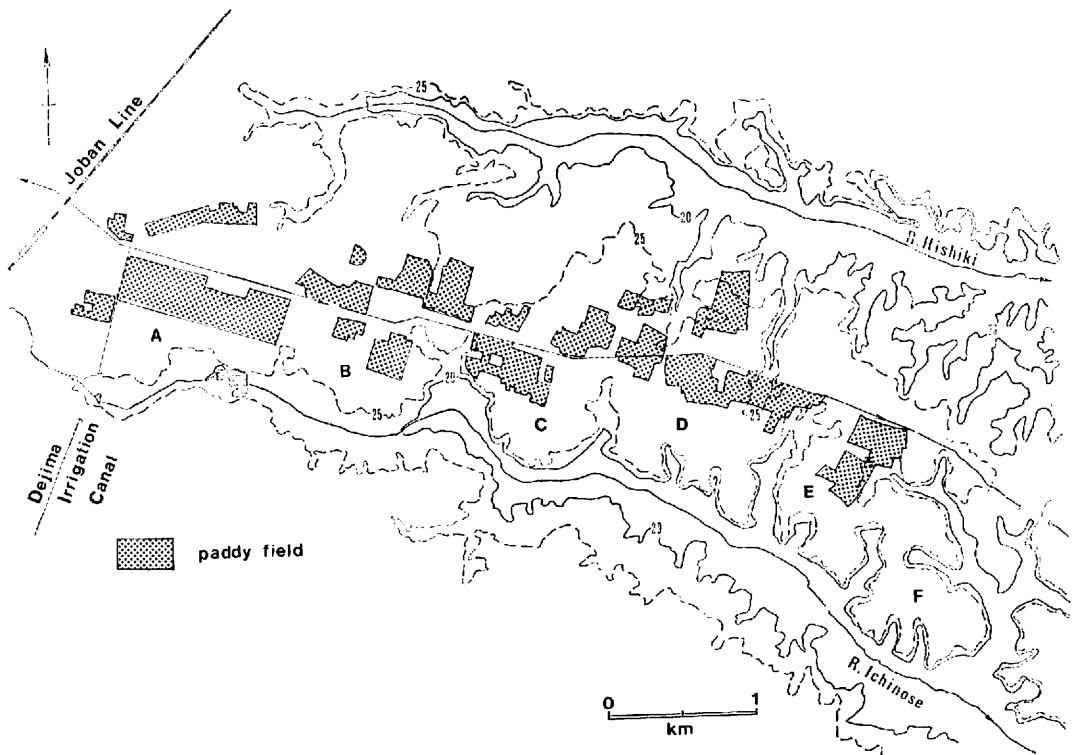
台地上は東西に続く分水界により大きく南北に二分され、その高所を農業用水である出島用水の幹線水路が走っている。出島用水は霞ヶ浦の湖水を利用しているために、比較的高濃度のナトリウムイオン(20.3ppm)および塩素イオン(37.0ppm)を含んでいる。この用水によって灌漑される水田約300haが用水路に沿って分布する(第2図-a)。

灌漑は5月始めから8月末まで約4ヶ月間行なわれ、その水量は2500mm前後、日減水深にして約30mm/日となる。この大部分が浸透し地下水を涵養して、それに量的、質的变化をもたらしていると考えられる。

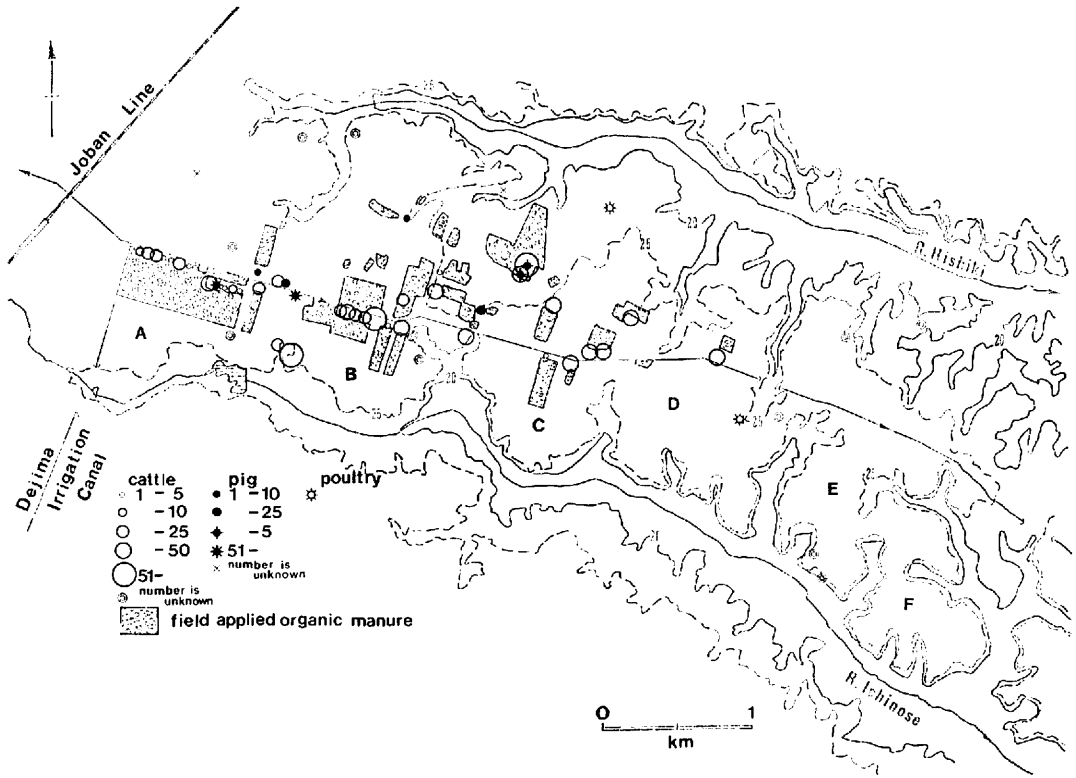
台地上の土地利用は中央部の水田を囲んで畑地および果樹園となっており、台地のへりや岸上の一部が林地となっている。また出島台地では畜産業も盛んであり、本調査地域内では酪農農家が出島用水沿いに多くみられる。それらの家畜糞尿の多くは農地に還元されており地下水水質への影響が考えられる(第2図-b)。

2) 調査方法

一ノ瀬川流域に属する台地を便宜的に、西からA~Fの6地区に区分した(第1図)。そのうち土地利用の異なるA、DおよびFの3地区において集中的な地下水の採水・分析を行なった。



第2図-a 水田の分布



第2図-b 畜産農家と糞尿を施肥する耕地の分布

A地区では、出島用水沿いを中心に畜産農家が多数存在し、また水田も広い面積を占めている。D地区も用水沿いに水田が広がるが南部には畑地および林地が分布しており、畜産農家は少ない。F地区は水田を有せず、主に畑地と林地が分布している。地下水水質に影響を与える因子から、灌漑用水と畜産排水の影響を受ける地区としてA地区、主に灌漑水の影響を受ける地区としてD地区を選定した。また畑地は全地区に存在するが、畑地肥料以外の因子が存在しない地区としてF地区を代表させた。採水・分析は以上の3地区内に分布する計26の観測井において、1982年12月から1983年10月まではほぼ一ヶ月ごとに行なった。

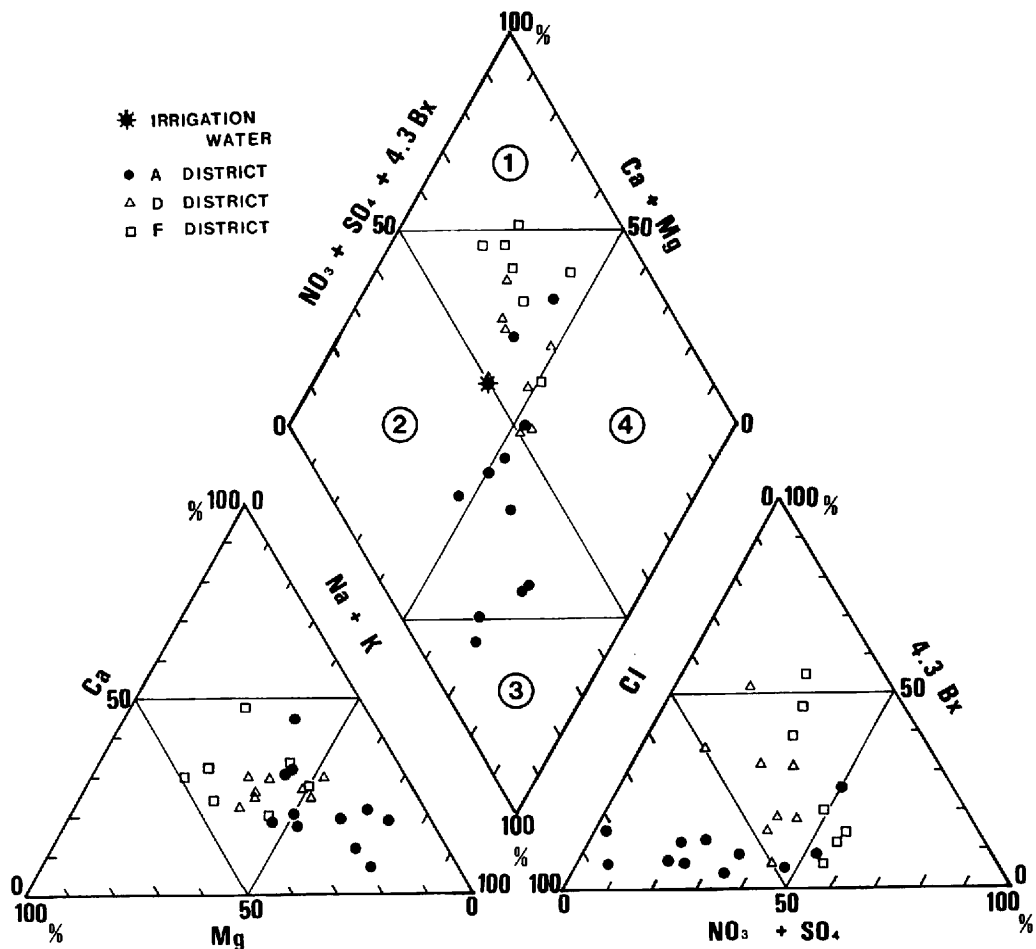
分析項目は主成分であるCa²⁺、K⁺、Mg²⁺、Na⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻およびHCO₃⁻の8項目で、試料は分析に供するまで冷蔵庫に保存し、0.45μmのフィルター通過した後、分析を行なった。陽イ

オンの分析には筑波大学分析センターのプラズマ発光分析装置 (Jarrell-Ash 社製、Model-975)、重炭酸イオンを除く陰イオンの分析にはイオンクロマトグラフィー (横河北辰電気製 Model-IC100) を用いた。測定値の信頼限界は各陽イオンと塩素イオンは±1%、硝酸イオンが±2%、硫酸イオンが±3%である。重炭酸イオンは、国土調査法 (1957) に従いアルカリ度 (pH 4.3) の値を用いた。

III 地下水の水質

1) 地下水の水質組成と土地利用

第3図に1983年8月における各地区別の地下水と灌漑水の水質組成を示した。ダイアグラム上における各地区の水質組成の分布傾向は年間を通じてほとんど変化がなかった。各地区の地下水水質は次のような水質相に分類できる。

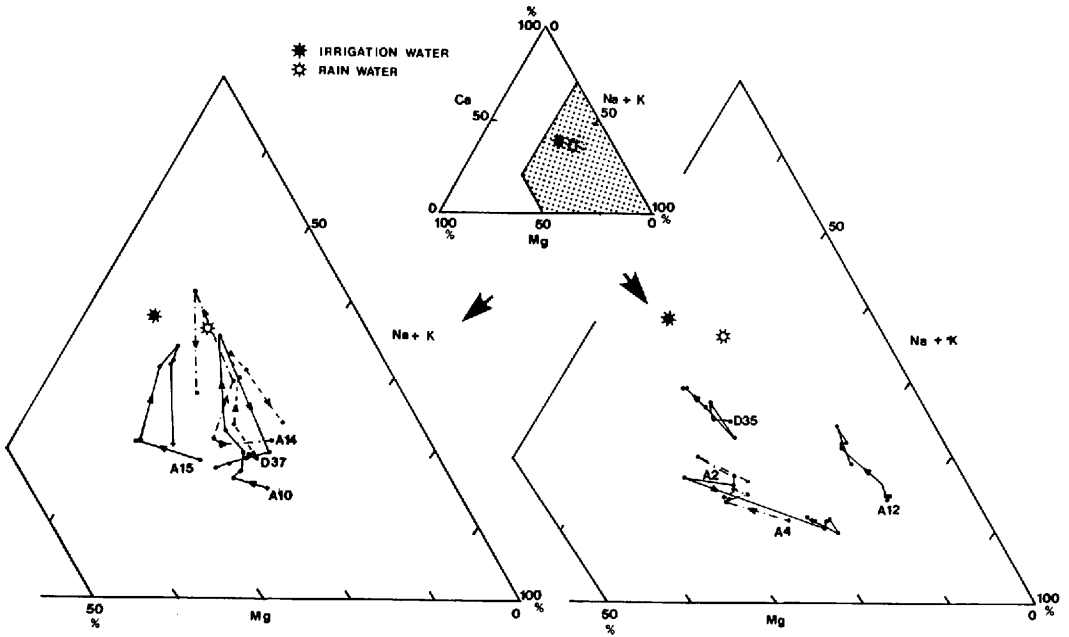


第3図 地区別キーダイアグラム

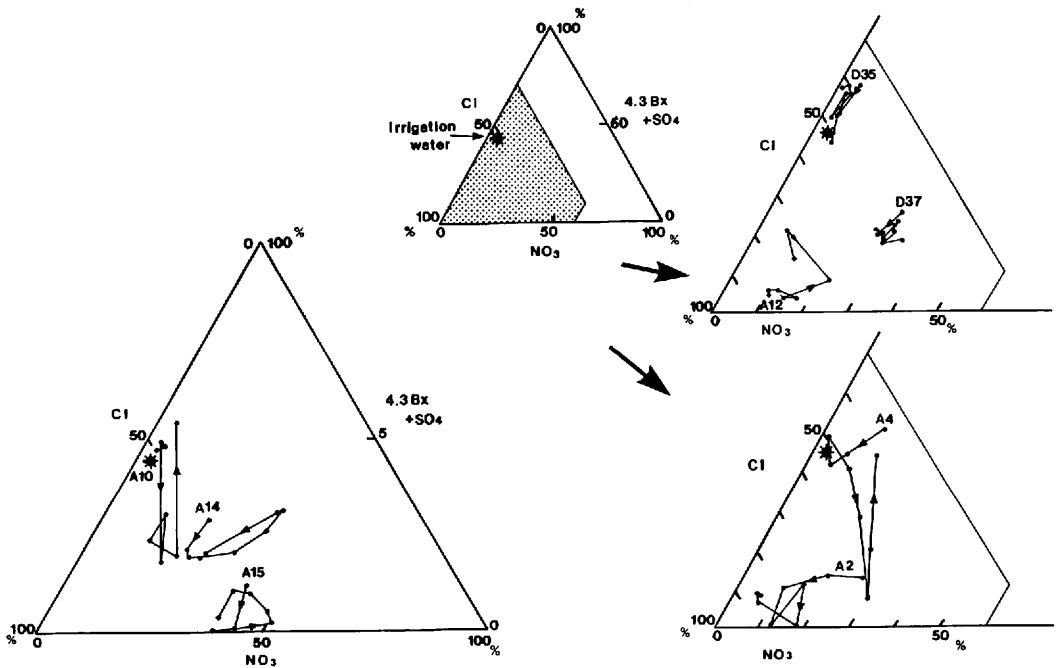
陽イオン組成（第3図・左下）に関してみるとA地区はほぼ sodium type に属し、DおよびF地区は、no-dominant type に属する。D地区の方がやや sodium type に近い分布を示すが、両者の間に明確な違いは認められなかった。陰イオン組成（第3図・右下）に関してみると、DおよびF地区は no-dominant type を中心に広く分布し、両者の間に違いは全く認められなかった。陰イオン組成は地区による違いより地点間の差の方が大きく、点源的な物質流入の影響を反映していると考えられる。

つまり三角ダイアグラムにおいては畜産排水の影響があるA地区の地下水は他の地区のそれと明瞭な違いが示され、陽、陰イオン組成は各々 so-

dium type, chloride type に属する。しかし、D、F地区の水質組成では、灌漑水と畑地肥料の影響はみられず、両者とも no-dominant type といえる。第3図の中央に示したキーダイアグラムでは各地区の水質組成の分布の違いがやはり明瞭に認められ、non-chloride hardness(①型)から chloride alkali (③型) へ向い、F、D、A地区の順でほぼ一直線に並んだ。A地区の水質組成は灌漑水の組成と③型の間に分布している。このことから、畜産排水中に含まれる成分のうち、ナトリウムおよび塩素イオンが地下水中に流入し、地下水水質組成に影響をおよぼしていると考えられる。D地区の地下水水質は、灌漑水の水質組成に類似しており、用水の影響が強く認められる。またそのうち



第4図-a 灌漑地域における陽イオン組成の年変化(数字は井戸番号を示す)



第4図-b 灌漑地域における陰イオン組成の年変化(数字は井戸番号を示す)

畑地の影響が強いものが①型よりに分布する。F地区は①型付近にまとまった分布を示している。

以上のように土地利用の違いが地下水水質組成におよぼす影響は、キーダイアグラム上で明らかに示された。畑地地域における地下水水質は①型に近く、灌漑地域、畜産地域の順で顕著に③型に近くなることがわかった。

灌漑水の地中への流入は一年のうち5月から8月までの4ヶ月間のみに限られる。そのため、灌漑水の影響を受ける地下水の水質組成は年変化を示す可能性がある。そこで三角ダイアグラムに、灌漑の影響が認められるAおよびD地区の代表的な井戸の水質組成変化を地点ごとに示した(第4図)。図中の矢印は、1982年12月から1983年10月までの組成変化イオンの方向を示している。

陽イオンにおいては(第4-a図)、灌漑期に灌漑水の水質組成に近づくもの(第4図-a・左)とそうでないもの(図中・右)に分けられた。前者は灌漑用水沿いに位置する井戸で、後者は比較的台地のへりに位置する井戸である。観測井12および35は地下水の涵養域に存在する。

灌漑水流入の影響が強くみられた井戸における水質組成変化の約一年間の軌跡は三角形を描き、流入、流出過程における水質変化が異なる反応であることを示している(第4図-a・左)。流入時には各イオンの優勢率が変化して直接的に灌漑水の組成に近づくが、流出時(水位低下時)には、マグネシウムイオンの組成率に変化が少なく、まずカルシウムイオンがナトリウムイオンに置換する。その後、マグネシウムイオンが他の2イオンと置換してある程度溶出するといえる。

第4図-a・右に示した地下水の組成変化は、ほぼ一直線上を往復しているが、灌漑期より遅れて灌漑水の組成に近づくような傾向もみられる。

第4-a図と同地点における陰イオンの組成変化図を第4-b図に示した。灌漑水中の陰イオンは、塩素イオンと重炭酸イオンの組成率が大きい。組成率の年変化方向は各観測井により非常に異なり、地点による違いが著しいと考えられる。しかし、年間を通してみると、観測井12と2を除

く井戸では、塩素イオンの組成率は灌漑水とはほぼ等しく一定である。そして灌漑水中で重炭酸イオンが占めている組成率の一部が地下水中では、硝酸イオンの組成率に変化していることがわかった。

2) 地下水水質の年変化パターンを考慮した地下水の分類

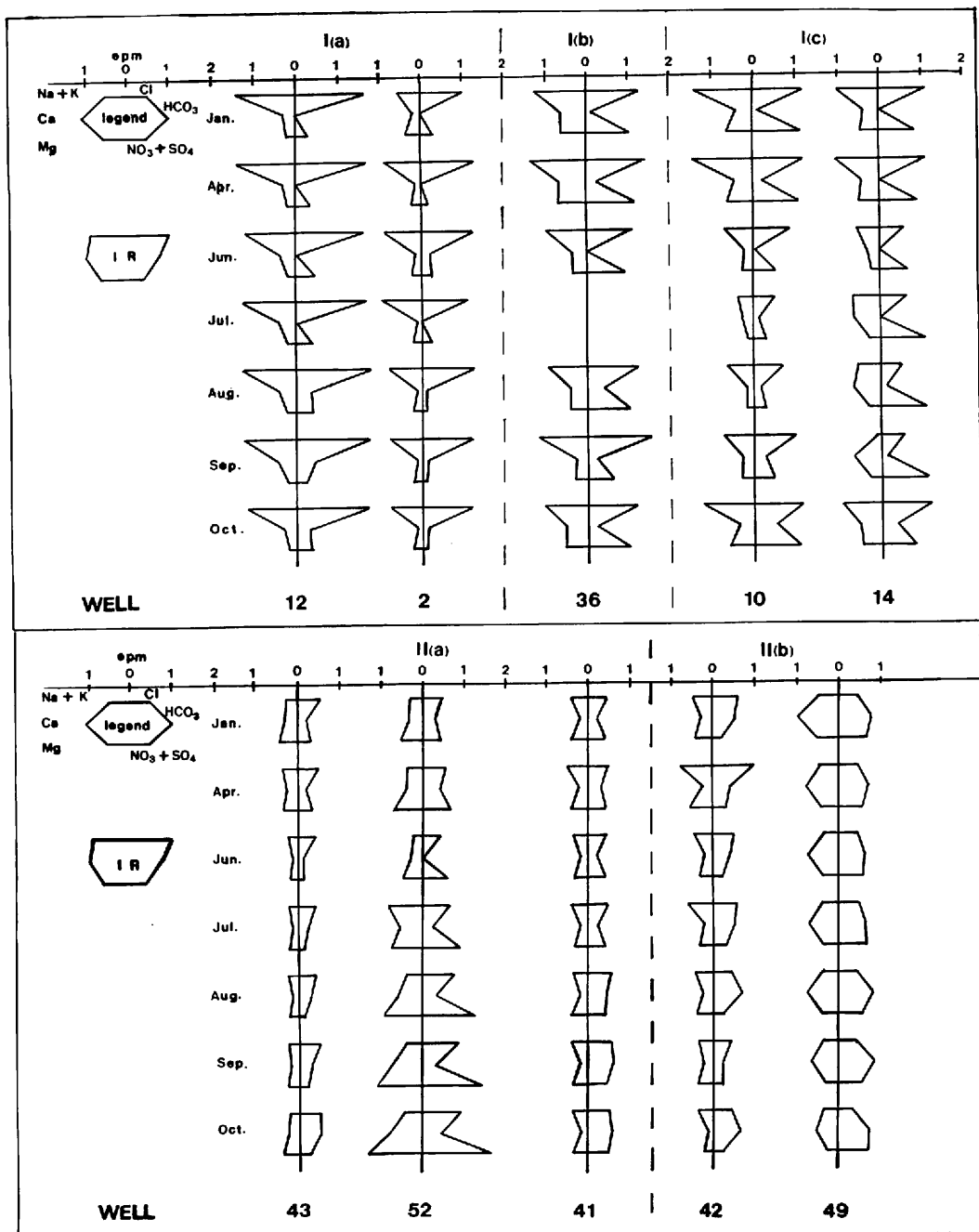
A、DおよびF地区の各地点における水質を化学組成およびその年変化により分類することを試みた。

各イオンの濃度および組成を示すことができるヘキサダイアグラムを用い、その形状および変化パターンにより分類を行なった。分類した代表的な井戸の水質組成およびその変化を第5図に示す。

I型としたものは、ナトリウムイオンおよび塩素イオンの溶存量が著しく多いもので、A地区全域およびD地区の用水沿いに分布する。土地利用より、畜産タイプといえる。

I(a)型は、ナトリウムイオンと塩素イオンの溶解量が多いのに対し、他の成分をほとんど含まないものである。また、季節変化も認められなかった。観測井12および2はA地区内に存在し、いずれも畜産農家のものである。A地区には水田も広く分布するが、観測井12は台地内で最も地下水面が高い所に位置するため地上からの浸透以外に地下水に流入する水が考えられないこと、また観測井2は水田からかなり離れた所に位置することからこれらの水質は畜産タイプの水質といえ、灌漑水の水質とはかなり異なっている。

I(b)型は、ナトリウムイオンおよび塩素イオンと同時に硫酸イオン、マグネシウムイオンなどの他の成分もかなり多く含むものである。ヘキサダイアグラムの形状は灌漑水の水質と類似している。灌漑水に比べカルシウムイオンおよび重炭酸イオンが減少しているのは、浸透中における吸着やイオン交換などの化学的反応のためと考えられる。観測井36は、D地区の水田に囲まれた用水沿いに位置する。灌漑期と非灌漑期の間に組成変化は認められず、I(b)型は年間を通して灌漑



第5図 地下水水質の年変化パターン

水の水質の影響がみられる水田タイプの水質といえる。

I(c)型は、その組成に季節変化が認められたものである。非灌漑期にはI(a)型もしくはI(b)型の組成であるが、灌漑期には灌漑用水組成と非常に類似した組成を持つ。灌漑期に成分濃度が全体的に低下するのは、灌漑水による希釈が生じたためと考えられ、また施肥などによる硝酸イオン流入のため、重炭酸イオン濃度が灌漑水に比べて低いと考えられる。I(c)型は、直接的な灌漑水の影響をうけるタイプといえる。

II型は少ないイオン量に代表され、D地区の台地の縁、およびF地区に分布するため畑地タイプ、または林地タイプと考えられる。

II(a)型は、特にカルシウムイオンと重炭酸イオンが低濃度のものである。観測井41、43および52はいずれも台地の縁の畑地に位置する。観測井41および43はD地区に存在するため、灌漑水の影響を間接的にうけることが予測されたが季節変化はほとんど認められなかった。観測井52はF地区の谷頭部に位置するため、地下水面が浅く、8月から10月にかけて施肥の影響が明らかに認められ、硝酸イオンとマグネシウムイオンが増加した。このような施肥などによる水質変化も含めてこのタイプを畑地タイプとした。

II(b)型の組成はカルシウムイオンと重炭酸イオンの量が多いことで代表される。深層の地下水は還元状態に近いこと、遊離した炭酸ガスが土壌岩石と反応して重炭酸イオンを生じ、同時に陽イオンを溶解するという現象が一般にみられるといわれている。II(b)型はこの一般的深層地下水の水質特性と、II(a)型の畑地タイプの中間型と考えられる。観測井49はF地区の台地中央部の空地に位置し、地下水面は地表面下約5mに存在し、本調査地域内では深い方である。よってこの水質は還元状態に近く、また周辺が空地であることから人間活動の影響が小さいと思われるため、林地(広い意味で人間活動の影響がない)タイプとした。観測井42は、D地区の台地の縁に位置するが観測井49と比べ畑地タイプにやや近い組成であ

る。

以上のように出島台地における地下水はその組成および組成変化パターンにより、畜産タイプ、水田タイプ、灌漑タイプ、畑地タイプ、および林地タイプの5種に分けられた。

IV まとめ

茨城県出島台地において農業活動が浅層地下水におよぼす質的影響を検討し、次に示す結果および結論を得た。

- 1) 土地利用の異なる3地区における水質分析の結果から、それらの水質の違いはキーダイアグラム上で明らかに認められた。畜産地域の地下水水質は chloride alkali type に近く、水田、畑地地域の順で non-chloride hardness type に近くなる。
- 2) 本調査地域の地下水はその水質組成および年変化から次の5タイプに分類できることがわかった。それらは、ナトリウムイオンおよび塩素イオンに特徴づけられる畜産タイプ、それに高濃度の硝酸イオンが加わった水田タイプ、灌漑期に灌漑水の水質に類似した水質組成に変化する灌漑タイプ、イオン量が少なく、所により肥料流出の影響がみられる畑地タイプ、および重炭酸イオンの高濃度に代表される林地タイプである。

謝 辞

本研究を進めるためにあたり、御指導を賜った新藤静夫教授(筑波大学地球科学系)、森下豊昭助教授(筑波大学応用生物化学系)に深謝します。また野外調査の際に御協力いただいた出島村新生農協をはじめ、現地の方々、さらに試料分析に際して御助言をいただいた小野陽子技官(筑波大学分析センター)に心より御礼申し上げます。

なお、本研究には文部省科学研究費・環境科学特別研究(1)「地域環境要因としての地下水」および筑波大学・学内プロジェクト「地中における汚染物質の挙動に関する研究」の補助を受けた。記して感謝します。

注

- 1) 水質相分類は、Morgan and Winner(1962), Back

(1966), 半谷 (1979) の区分にもとづいて行なった。

文 献

- 気象庁・気象研究所(1983): 大気・降水中の化学物質の地球化学的研究. 研究報告書, 463-473.
- 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, 3, 77-87.
- 田淵俊雄・高村義親・久保田治夫・鈴木誠治(1975): 霞ヶ浦からのカンガイ用水が河川水質と流出負荷

に与える影響. 農土論集, 59, 30-34.

半谷高久(1979): 『水質調査法』丸善, 399p.

Back, W. (1966): Hydrochemical facies and ground water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 498-A, 42.

Morgan, C. O. and Winner, M. D., Jr. (1962): Hydrochemical facies in the 400 foot and 600 foot sands of the Baton Rouge Area, Louisiana. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 450-B, 120-121.