

府中崖線地域における水系および 土壌の重金属分布に関する研究

1985年

岡崎 正規

東京農工大学農学部助手

目 次

1. 研究課題	1
2. 実施内容および成果	1
(1) 研究目的	1
(2) 調査地域	1
(3) 試料および方法	1
(4) 結果および考察	3
(4)– 1 府中崖線地域の水系・地形・地質・土壌	3
(4)– 2 府中崖線地域の湧水，府中用水および地下水の水質	4
(4)– 3 府中崖線上総層群，府中用水底質および本町農場水田土壌の理化学的性質	5
(4)– 4 本町農場における重金属収支	6
(5) 要 約	7
(6) 引用文献	8
3. 今後予想される成果	8
4. 本研究による公表成果	9

1. 研究主題

「府中崖線地域における土壌の重金属分布に関する研究」

研究代表者 岡崎正規 小倉紀雄
研究協力者 大橋秀雄 中沢勇二 齊藤伸二

2. 実施内容および成果

(1) 研究目的

陸水中の物質の変動は底質によって規制されていると言っても過言ではないが、これまでのところ陸水と底質との関係はそれほど明確にはなっていない。

府中崖線直下の府中用水は、立川段丘礫層からの湧水および多摩川からの分水によって用水としての機能を果たしてきた。

1960年代より都市化が急激に進行し、府中崖線地域には工場や住宅が建設されて、工場排水、家庭排水の一部が流入するようになり、水田のかんがい用水としての役割を放棄せざるを得ない状況にある。

本研究の目的は、府中崖線地域における人間活動の影響を明らかにするため、府中崖線の湧水、府中用水および府中用水底質、水田土壌の重金属分布を明らかにした後、底質、水田土壌の重金属の蓄積量から重金属による水-土壌系の汚染を示すとともに、水田における重金属の収支をもとめ、重金属含量の半減する期間を算出して、府中崖線地域の水田における重金属の動態に関する将来予測を行うことにある。

(2) 調査地域

調査地域は東京都府中市西部に位置し、立川段丘と多摩川沖積地の境界をなす府中崖線（立川段丘崖線）南側の多摩川低地の一部である。現在よりも水量が豊富であった多摩川は多摩丘陵と立川段丘の間にある氾濫原を自由に流れていたと考えられており、氾濫原に形成されたいくつもの流路のうちの主要な流路が選択されて用水路として利用されてきたとみられる。

調査地域の横断面および調査地点を図1に示した。

(3) 試料および方法

1) 試料

水、底質、土壌および水稻試料は1983年から1985年に採取された。図1に示した府中市西府町1-43において府中崖線からの湧水と上総（かずさ）層群のシルト層を、国立市谷保1において府中用水と府中用水底質を、府中市本町3-5 東京農工大学農学部付属農場本町農場（水田）（図2、3）において地下水、水田、土壌、水稻試料を得た。

1) 水試料

水試料採取時に気温、水温、用水断面積、流速および流量を測定した。採取した水試料を実験室にもちかえり、ただちにpH、電気伝導度（EC）、溶存酸素（DO）を測定した。水試料の一部

は、Whatman GF/Cフィルター（ポアサイズ $1.2 \mu\text{m}$ ）により濾過し、溶存成分を測定した。

ii) 底質および土壌試料

底質および土壌試料は風乾後、サラン製 2mm 網目篩で礫と風乾細土を分別し、礫含量をもとめた。化学分析には風乾細土を用いた。

iii) 水稻試料

水稻は1984年に採取し、風乾後、部位ごとに分けて分析試料とした。

2) 分析方法

i) 水試料

pH : pH 計

EC : EC 計

DO : DO 計

DOC : MENZEL and VACCARO (1964) 法

RP : MURPHY and RILEY (1962) 法

$\text{NO}_3\text{-N}$: WOOD et al. (1967) 法

Cu, Zn : 硝酸・過塩素酸分解後、原子吸光光度計で定量した。

ii) 底質および土壌試料

pH : pH 計

EC : EC 計

有機態炭素、全窒素 : 柳本 C・N コーダー

有効態リン : TRUOG (1930) 法

リン酸保持容量 : 2.5% リン酸、アンモニウム (pH7) 吸着法

交換性陽イオン : 1M 酢酸アンモニウム (pH7) 法

Fe(II), Fe(III) : 1M 酢酸ナトリウム-塩酸 (pH2.8) 抽出後、*o*-フェナントロリンで比色定量した。

iii) 水稻試料

Cu, Zn : 硝酸・過塩素酸分解後、原子吸光光度計で定量した。

3) 吸着および溶脱実験の方法

i) 吸着実験

風乾細土をさらにサラン製 0.5mm 篩で篩別し、吸着実験用試料とした。吸着実験用試料 0.1g を遠心管 (図4) にとり、 $3.33 \times 10^{-4} \text{ M}$ の Cu, Zn, Mg 混合溶液 (Cu について 7.05 ppm , Zn について 7.25 ppm , Mg について 2.70 ppm) を加え、 25°C 恒温室内で振とうした。24時間後、 12000 rpm , 15分間遠心分離し、上澄液を得た。これをポアサイズ $0.22 \mu\text{m}$ のミリポアフィルターで濾過した後、濾液の Cu, Zn, Mg を原子吸光法で定量した。吸着実験用試料

を入れないコントロールとの濃度差から吸着量をもとめた。

ii) 溶脱実験

風乾細土 100g をガラスカラムに充填し (図 5), 1 日おきに 100ml を透水して, 浸透水中の Cu, Zn を原子吸光光度計で定量した。

(4) 結果および考察

(4)-1 府中崖線地域の水系・地形・地質・土壌

関東平野全体を概観すると, 東方には開いているものの周辺部が高く, 中心部が低い盆地をなしていることがわかる。周辺部の高い所は関東山地や八溝山地であり, これらから中心部に向って多くの丘陵あるいは台地が中心部の沖積低地をとりまいている。

関東平野の基礎は, 古生代末から中生代にかけてつくられた山地と, 中生代から新生代古第三紀にかけて北方の山地が北に回転し, 南方の伊豆半島などが衝突を起こしたことによってつくられたと考えられている。この様にして関東平野の骨格がつくられた後, 第三紀後半になると関東平野の大部分は海水の侵入を受け, 中新世中～後期に海成の三浦層群が, 鮮新世～更新世中期にかけて上総層群が堆積する一方, 関東山地, 丹沢山地周辺では扇状地性の河成堆積物によりいろいろの丘陵がつけられた。またこの頃は, 北関東では日光, 那須, 赤城などの火山が, 南関東では箱根, 富士火山が活発となり, 多量の火山灰を噴出した。

更新世中～後期は間氷期となり海が内陸に深く侵入し, 古東京湾をつくり出し, 水深は変化したものの成田層, 東京層などが連続して堆積した。その後, 海水面や地盤の変動によって下末吉, 武蔵野, 立川などの段丘が形成されていった。こうしてつくられた丘陵や段丘面の上に火山灰が供給され, いわゆるローム層ができあがった。

多摩川は他の関東地方の河川と同様にいくつかの丘陵や台地を侵食し, その流路に沿って自らの谷底低地を発達させた。多摩川が立川段丘面を形成した後, この地域の地盤は相対的に上昇したため府中崖線 (立川段丘崖線) がつくられることになったが, しばらくすると地盤が低下し, 多摩川の侵食力はおとろえることになり, 立川段丘と多摩丘陵との間に土砂が堆積して多摩川の谷底平野が形成された。古い多摩川は水量が豊富でたびたび洪水をもたらしたが, このとき谷底平野は氾濫原となり, 多摩川の流路は一定しなかった。不安定な流路は網目状流路となって残り, 用水路のもととなった (図 6)。これら網目状流路の主要なものが府中用水, 本宿用水, 四谷用水 (上堰用水, 下堰用水), 三ヶ村用水, 押立用水などとなって利用された (図 7)。多摩川の氾濫原である多摩川低地を詳細にみれば, 平坦ではなく凹凸の起伏を認めることができる。

多摩川低地の土壌は, 東京都農業試験場 (1982) によって細粒質灰色低地土 (Fine-textured Gray Lowland Soils (Gray Type) あるいは礫層灰色低地土 (Gravelly Gray Lowland Soils (Grayish Brown Type)) に分類されている。下層に砂が多くなるが, 農業生産力を左右する自然肥沃度は中程度である。

府中崖線の南に広がる多摩川低地は古くから水田として利用され、府中の人々の食糧を供給してきた。水田のかんがい水は、府中崖線からの湧水と多摩川からの取水によっていた。しかし高度経済成長の始まる1960年ごろより都市化が急激に進行し、工場や住宅の建設が著しくなり、工場排水や家庭排水が用水に流入することとなった。このような排水の流入に加えて、湧水量が低下したこと、多摩川河床の低下で取水が難しくなったこともあり、水田かんがい用水としての役割、機能がほとんど停止している状況である。

東京農工大学農学部付属農場本町農場は、府中崖線南側のほぼ中央部に位置し、府中用水をかんがい水として利用し、戦前より水稻を栽培してきた(図2)。府中用水は1960年以降前述したような理由から急速に汚染が進行した。そこで1964年に150m深の深井戸掘削を行ない地下水によるかんがいを開始したが、1965年より1970年までは深井戸からの地下水と府中用水の両方を利用していた。1970年10月に府中用水底質から最高37.1ppmのCdが検出されたこと(東京都府中市, 1978)を契機として1971年以後地下水のみのかんがいに転換した。本町農場の水田土壌の基本的な性質については、坂上ら(1978)がすでに報告している。

(4) 府中崖線地域の湧水、府中用水および地下水の水質

1) 府中崖線地域の湧水の水質

湧水の化学成分を表1, 2および3に示した。府中市西府町の湧水は比較的流量が多く、変化の小さい水質を示した。Cu濃度は0.1~5.1ppb, Zn濃度は2.6~26ppbで低かったが、NO₃-N濃度は520-855μg at N・ℓ⁻¹できわめて高く、長期間飲料水とすることは望ましくない。1984年は異常気象と言われ、降水量が極端に少なかったために、1984年の湧水流量は1983年の流量の1/5程度であった。これまで本湧水は枯渇したことがないと伝えられているが、集水域の宅地化が著しく進行しており、この地域の降水の地下浸透を妨げないような住宅建設の工夫が必要であろう。

2) 府中用水の水質

府中用水の流量は水稻作付期間中に非常に多くなり、非作付期間の10倍以上にもなる(図8)。このことは現在でもなお府中用水を水田かんがい水路として利用していることを示唆している。

府中用水の水質には季節的な変動が認められた(表4~10)。Cu, Zn濃度の変動も大きく、Cu濃度は1.8~46ppb, Zn濃度は5.0~178ppbであった。これらの値の大部分は、BOWEN(1979)が示した陸水中のCu, Zn濃度の範囲内にあったが、家庭雑排水の排水路となった幅の狭い水路はCu, Znともに高い濃度を示した。

3) 本町農場水田かんがい用地下水

かんがい用地下水の揚水量は、水稻作付面積によって変化したが、1975~1982年では90355~187300m³(斉藤・下田, 1984)であった。かんがい用地下水中のCu, Zn濃度は、表11のように低いものであったが、かんがい水量が多いために本町農場水田の重金属収支を考える際には無視できないものになる。

(4) 3 府中崖線上総層群, 府中用水底質および本町農場水田土壌の理化学的性質

1) 府中崖線上総層群の理化学的性質

第三紀鮮新世の終り頃から第四紀更新世のはじめ頃に堆積した上総層群は礫層を挟み込んだ砂泥互層である。泥層は堅密で不透水層となっていることが多い。府中崖線にあらわれた上総層群の連光寺互層(藤本, 1968)の理化学分析の結果を表12に示した。還元色を呈していたシルト質土層は風乾後硫化物が酸化されて硫酸を生じたためにpHが低かった。地表面から立川段丘礫層にまで達した雨水は褐色シルト質の上総層が不透水層となっているために湧水となってあらわれることになる。

2) 府中用水底質の理化学的性質と重金属吸着能

i) 府中用水底質の理化学的性質を表13に, またOrg-CおよびT-Nを表14にあげた。底質の礫含量は30~89%で, 礫の占める割合が高い(表15)。底質のpH, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$, Fe(II), Fe(III), 重金属含量の経時変化を図9~12に示した。

府中用水底質のpHは7付近にあったが, 採取時期によって多少の変動がみられた。Org-CおよびT-NもpHと同様に採取時期や底質の礫あるいは粘土含量によって変化が認められ, それぞれ0.50~1.34%および0.07~0.15%の範囲にあった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は流量の少ない冬期に濃度が高く, 流量の多い夏期に低い傾向がうかがえた。

$\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ は $\text{NH}_4\text{-N}$ に比べて低い値を示した。1M酢酸ナトリウム-塩酸緩衝液(pH2.8)に抽出されるFe(II)が春~夏期に多く, 冬期は少なかったのに対して, Fe(III)は抽出されないか, もしくはごく少量抽出された。

府中用水底質の重金属含量には2つの傾向がみられ(図12, 表16, 17), Cu, Zn, PbはBOWEN(1979)の示した土壌の平均値よりも府中用水底質の方が含量が高かったが, Crは逆に低い値であった。

これらの結果から府中用水底質がCu, Zn, Pbのような重金属によって汚染されていることが示されたが, Cr含量が少ないことの原因は不明である。

ii) 府中用水底質の重金属吸着能

府中用水底質による重金属イオンの吸着の様子を溶液のpHを変えて調べた(図13)。このときのバルク溶液のpH変化を図14に示した。これらの結果は底質が酸やアルカリに対して強い緩衝作用をもつこと, バルク溶液のpHによって吸着量が著しく変化し, 高pHでは吸着あるいは水酸化物を形成することを明らかにしている。通常府中用水のpHではイオンで存在する重金属は底質に吸着されるか水酸化物を形成して府中用水中に溶存できないことになる。したがって重金属イオンは用水中の有機あるいは無機コロイドと複合体を形成しているとみられる。表7は用水に含まれるCuの53%が1.2 μm 以上の粒子状物質として存在していることを示している。

3) 本町農場水田土壌の理化学的性質

本町農場水田土壌は多摩川氾濫原の沖積物を母材としており, 表19, 20にみられるようにpH

が高く、多少とも黒ボク土が混入しているために有機物含量がやや高い特徴をもつ。水田土壌のpH、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 、 Fe(II) 、 Fe(III) の経時変化を図13~15に、また重金属含量を図18、19に示した。

水田土壌のpHは湛水後還元が発達するにともなってpHが上昇し、落水後再びpHは低下した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は水稻作付期間に水田土壌中の有機態窒素が微生物によって分解され増加したが、追肥によっても影響を受けるために変動幅が大きかった。 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ は湛水期間中に減少していた。一方1M酢酸ナトリウム-塩酸溶液(pH2.8)に抽出される Fe(II) は湛水期間に微生物によって Fe(III) が還元されて増加したが、落水後は空気中の酸素によってすみやかに酸化され、減少した。

本町農場水田土壌中の重金属含量はきわめて高く、府中用水からのかんがい水および肥料中に不純物として混入している重金属によって汚染され、蓄積されてきたと考えられる。本町農場の旧かんがい水は図2の矢印に示されているように農場の北側を走る府中用水から直接導入されていた。このため農場全体の水口となっていたNo1地点が最も重金属含量が高く、次いで側溝から比較的直接的に府中用水を取り入れたことのあるNo7~9地点が高く、中央部に位置するNo4~6地点の重金属含量は低かった。さらに1枚の水田圃場ごとにとみると府中用水を取り入れる水口、中央、水尻の関係はNo1~3地点の水田では明瞭で、かんがい水の動きと重金属蓄積量の関係が明確になった。

(4)-4 本町農場水田における重金属収支

本町農場水田における重金属収支をもとめるために、かんがい用地下水および肥料からのInputと水稻による吸収および水田土壌からの溶脱によるOutputを計算した。

1) 存在量

本町農場水田土壌中の平均重金属(Cu, Zn)含量を表21に、またこれらの値に基づいて、作土を10cm, bulk densityを1として重金属存在量を算出して表22に示した。本町農場水田土壌中には $\text{Cu } 114 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $\text{Zn } 198 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ が存在する。

2) Input

かんがい用地下水の揚水量はその年の降水量、作付作物、作付面積などによって変化する。斉藤・下田(1984)の結果は、1975年から1982年の8年間に純用水量がしだいに減少してきていることをあらわしている。彼らの結果に基づいて平均揚水量を $2690 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$ とした。

かんがい用地下水からの重金属のInputは、表11のCu, Zn濃度からCuは $65 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、Znは $473 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ となった。

肥料からの重金属のInputは早瀬(1972)の結果に基づいてCuは $12 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、Znは $59 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ とした。

3) Output

i) 水稻による吸収

1984年における本町農場の水稲生産量を表23に示した。天候などによって年ごとに生産量には変動があるが、ほぼこれらの値が本町農場の平均的な生産量と考えられる。

表24に水稲体中の重金属(Cu, Zn)含量を示した。平均的な重金属レベルの土壌で生育した水稲(CHINO, 1981)に比べ1984年に本町農場で生育した水稲は多量のCu, Znを含んでいた。これらの結果から本町農場水田より水稲に吸収され、収奪される重金属は、1年間でCuは $33.6 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$, Znは $275 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (表25)となった。

ii) 水田土壌からの溶脱

1975年から1983年の9年間、本町農場から北に2km離れた府中農場で観測された降水量を表26に示した。この9年間の年平均降水量は1483mmで、作付期間(6~9月)には全降水量の46%に当たる685mmが平均降水量であるという結果を得た。

本町農場における水収支は、斉藤・下田(1984)が詳細に調べた結果によれば、作付期間ではInputの79%が地下浸透しており、かんがい水量とほぼみあう量が浸透している。一方非作付期間は降水量の90%が地下浸透している。以上の結果から本町農場における年間浸透量を3376mmと見積った(表27)。

カラム溶脱実験の結果を図20, 21に示した。Cuは実験開始直後に溶脱量が多く、しだいに減少した。ZnもCuと同様の溶脱パターンを示したが、CuよりもZnの方が浸透水中の濃度が高く、急激に低下した。溶脱実験の結果から浸透水に含まれるCu, Znの平均的な溶脱濃度をそれぞれ6, 32ppbとした。

本町農場水田の平均浸透水量と浸透水中のCu, Zn平均濃度から1年間に水田から溶脱されるCu, Znは135および1080 $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ となった(表28)。

4) 収支

これまでに得た結果から本町農場水田における重金属収支は、表29のようであり、収支を計算すればCu, Znともに水田から失われる傾向にあり、年間Cuは160, Znは $823 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ となった。

5) 半減期

本町農場水田土壌中の重金属の存在量と収支から存在する重金属が半減する時間をもとめた(表30)。その結果、現在本町農場水田土壌中に存在するCuおよびZnが半減する時間はそれぞれ640, 260年であった。

(5) 要 約

立川段丘と多摩川低地の境界をなす府中崖線(立川段丘崖線)地域の湧水、府中用水、本町農場かんがい用地下水の性質および湧水付近の上総層群、府中用水底質、本町農場水田土壌の理化学的性質、特に重金属含量を明らかにし、重金属の分布を水-土壌系としてとらえようとした。以下に得られた結果を要約する。

1) 府中崖線からの湧水および本町農場かんがい用地下水の中の金属は微量であったが、府中用

水には多量の重金属が含まれていた。

2) 府中用水底質および府中用水からかんがい水を導入していた東京農工大学付属農場本町農場水田土壌には多量の重金属が蓄積していた。

3) 本町農場水田における重金属収支を計算した結果、重金属は水田から流出する方向にあり、現在存在する量が半減するためには数百年を必要とすることが明らかになった。

(6) 引用文献

- 1) BOWEN, H. J. M. (1979) Environmental chemistry of the elements, Academic Press, London, New York, Tront, Sydney and San Francisco.
- 2) CHINO, M. (1981) Uptake-transport of toxic metals in rice plants, in Heavy Metal Pollution in Soils in Japan, ed. by KITAGISHI, K. and YAMANE, I. Japan Scientific Soc. Press, Tokyo, p. 81-94
- 3) 府中の自然(地形・地質)ガイドブック編集委員会(1985)府中の自然(地形・地質)ガイドブック, pp. 176, 東京都府中市
- 4) 藤本治義(1968)自然史, 府中市史, 上巻, 府中史編さん委員会編, p. 1-39
- 5) 早瀬達郎(1972)肥料と環境保全, 農業技術研究所肥料化学科, pp. 17
- 6) MENZEL, D. W. and VACCARO, R. F. (1964) The measurement of dissolved and particle carbon in sea water, Limnol. Oceanogr., 9, 138-142
- 7) MURPHY, J. and RILEY, J. P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, Anal. Chim. Acta, 27 31-36
- 8) 斉藤邦行・下田博之(1984)東京農工大学付属本町農場水田の水稻栽培における用水量と水収支, 東京農工大学農学部農場研究報告, No. 11, 31-40
- 9) 坂上寛一・下田博之・渡部直吉(1978)東京農工大学農学部付属農場の土壌, 第2報, 本町農場(水田)の土壌の理化学性と窒素肥沃度, 東京農工大学農学部農場研究報告, No.8, 23-35
- 10) 東京都府中市(1978)府中市の公害, 武蔵府中叢書 第6巻 pp. 466
- 11) TRUOG, G. (1930) The determination of the readily available phosphorous of soils, J. Am. Soc. Agr., 22, 874-882
- 12) WOOD, E. D., ARMSTRONG F. A. J. and RICHARDS, F. A. (1967) Determination of nitrate in sea water by cadmium copper reduction to nitrate, J. Mar. Biol. Ass. U. K., 47, 23-31

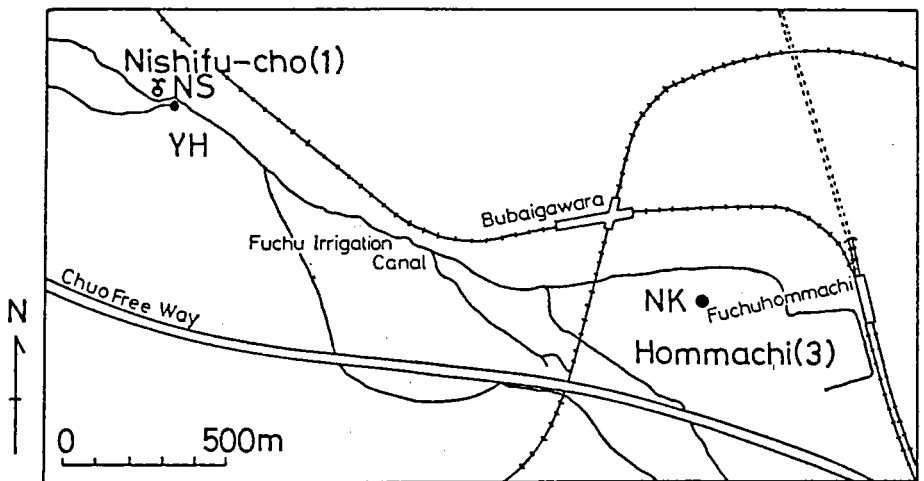
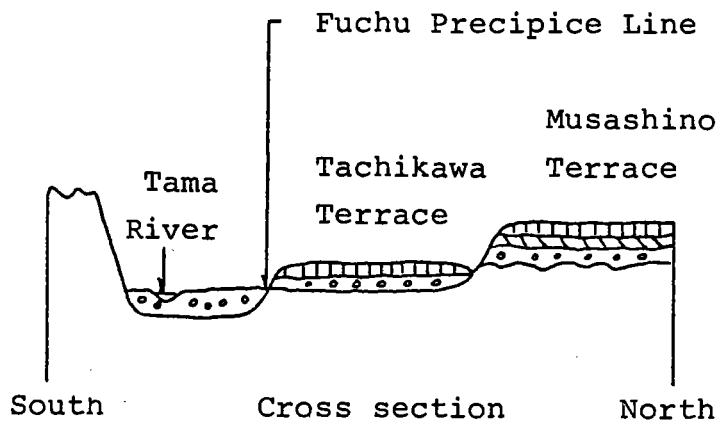
3. 今後予想される成果

本研究の推進にあたっては大学院生および学部学生の協力を得た。このような一連の研究を通して、

院生および学部学生が環境科学研究の方針，数値のもつ意味を十分に認識できたと考える。さらにひとたび重金属などによって水および土壌が汚染されれば，もとどおりにすることが不可能に近いことを理解できたと思われる。今後の環境科学の先頭に立つべき院生，学生が研究者としての自覚をもち，環境保全を行う種々の分野で活躍できる基礎研究の場と時を得たことは重要であろう。

4. 本研究による公表成果

OKAZAKI, M. (1985) Abundance and distribution of heavy metals in soil and water system in Fuchu Precipice Line area, Tokyo, Japan, pp. 37



1:10000

Study area

Fig. 1 Study area and its cross section

図1 府中崖線地域およびサンプリング地点

NS：東京都府中市西府町1丁目43

YH：東京都国立市谷保町1

NK：東京都府中市本町3丁目5

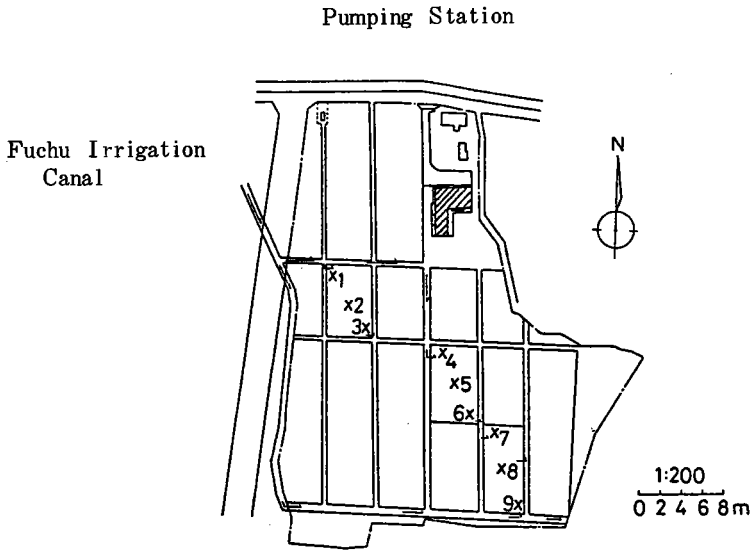


Fig. 2 Sampling points in Hommachi Farm before foundation.
Arrows show the direction of the water from Fuchu Irrigation Canal

図2 生産基盤整備前の本町農場とサンプリング地点

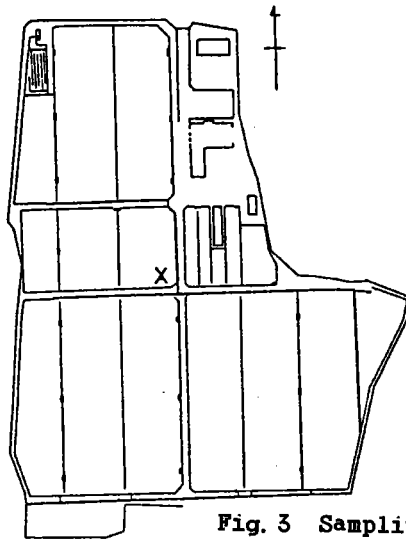


Fig. 3 Sampling points in Hommachi Farm after foundation

図3 生産基盤整備後の本町農場とサンプリング地点

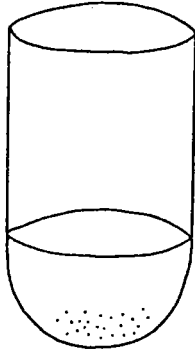


Fig. 4 Centrifuge tube used in the adsorption experiment

图 4 吸着実験

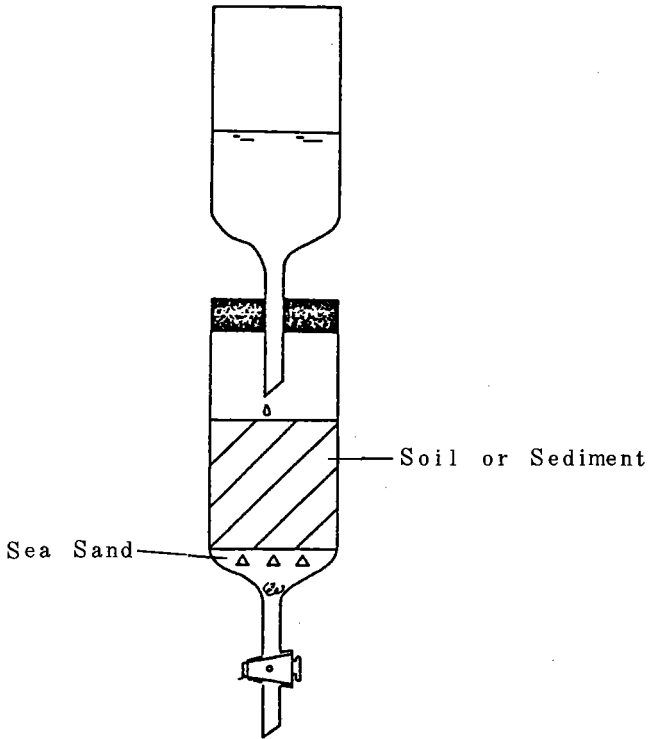


Fig. 5 Elution experiment apparatus

图 5 溶脱実験

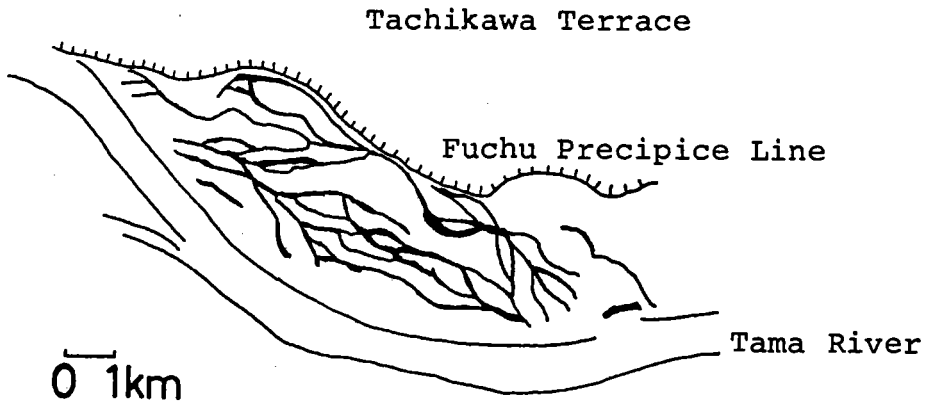


Fig. 6 Flood channels on the Tama River below the Fuchu Precipice Line (Natural guide book of Fuchu, 1985)

図6 府中崖線南側の多摩川低地の旧流路

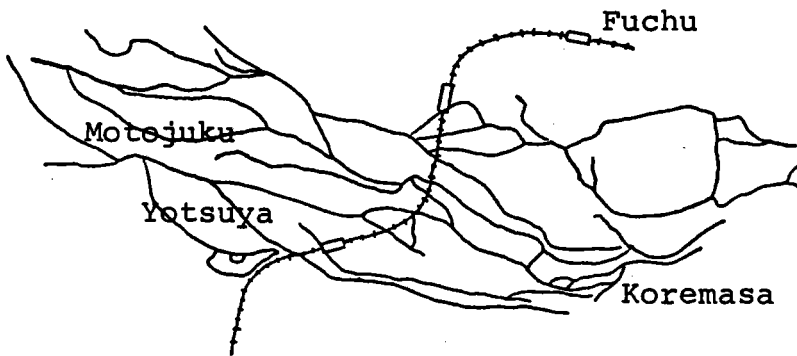


Fig. 7 The Fuchu Irrigation Canals on the flood plain of the Tama River (Natural guide book of Fuchu, 1985)

図7 多摩川低地に広がる府中用水

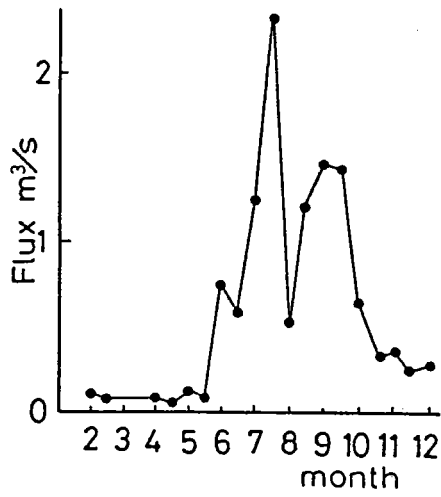


Fig. 8 Changes in flux of the water in the Fuchu Irrigation Canal

図8 府中用水の流量の変化

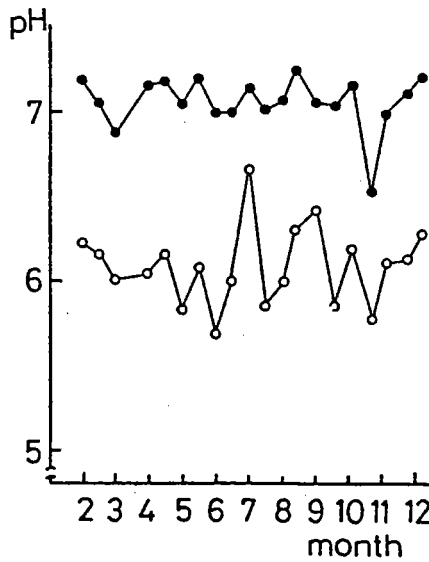


Fig. 9 Changes in the pH of the sediment

●—● pH(H₂O)
○—○ pH(KCl)

図9 府中用水底質のpH

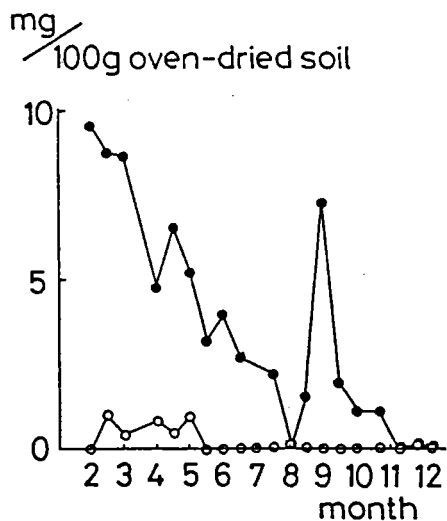


Fig. 10 Changes in $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in the sediment

●—● $\text{NH}_4\text{-N}$
○—○ $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$

図10 府中用水底質の $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 含量

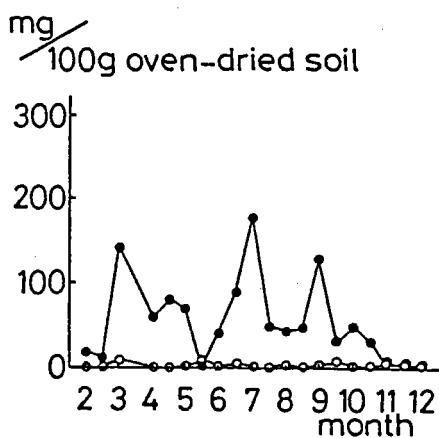


Fig. 11 changes in extractable Fe(II) and Fe(III) in the sediment

●—● Fe(II)
○—○ Fe(III)

図11 府中用水底質の1M酢酸ナトリウム-塩酸(pH2.8)抽出性 Fe(II) および Fe(III) 含量

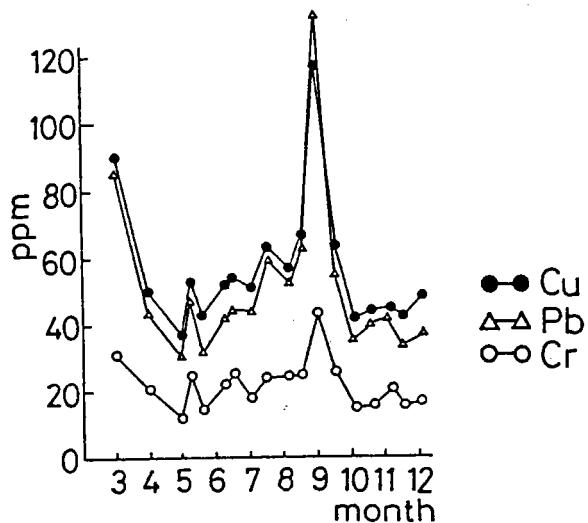


Fig. 12 Changes in heavy metal concentrations in the sediment of the Fuchu Irrigation Canal

図12 府中用水底質の重金属含量

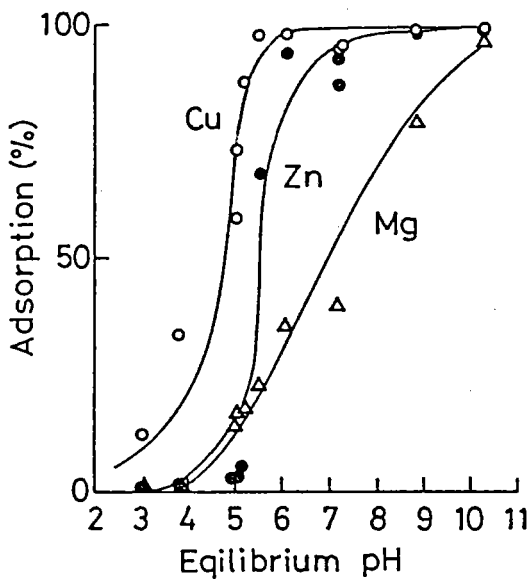


Fig. 13 Adsorption of Cu, Zn and Mg on the sediment from the Fuchu Irrigation Canal in a 0.2M NaNO₃ system

図13 府中用水底質による重金属の吸着

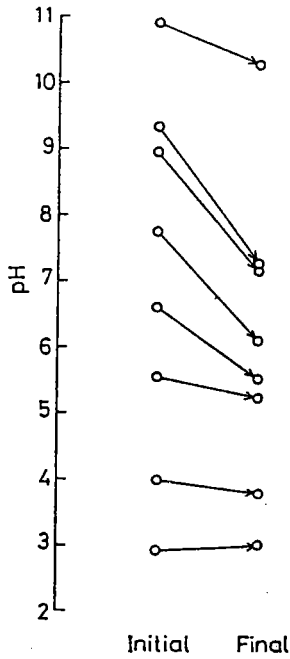


Fig. 14 Changes in the pH of bulk solution in a 0.2 M NaNO₃ system
Arrows indicate the direction of pH Changes during adsorption

図14 府中用水底質による重金属の吸着にともなうpHの変化

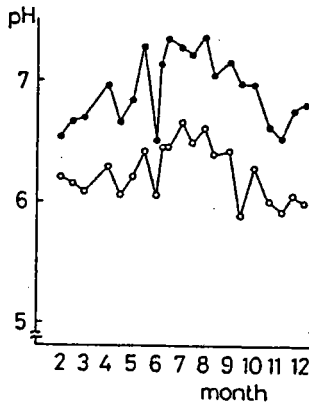


Fig. 15 Changes in the pH of paddy soil
●-● pH(H₂O)
○-○ pH(KCl)

図15 本町農場水田土壌のpH

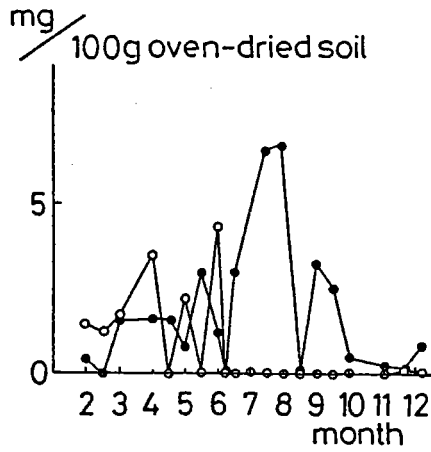


Fig. 16 Changes in NH₄-N and NO₃-N in paddy soil

●—● NH₄-N
○—○ (NO₂+NO₃)-N

図 16 本町農場水田土壌中のNH₄-NおよびNO₂-N+NO₃-N含量

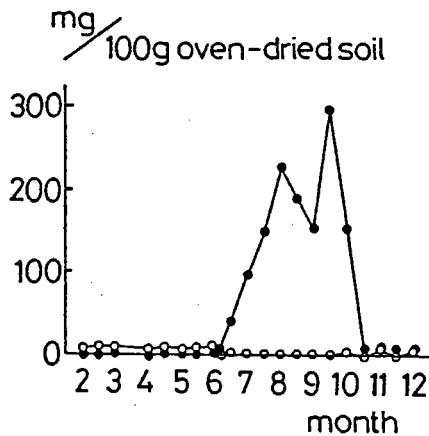


Fig. 17 Changes in extractable Fe(II) and Fe(III) in paddy soil

●—● Fe(II)
○—○ Fe(III)

図 17 本町農場水田土壌中の1M酢酸ナトリウム-塩酸(pH2.8)抽出性Fe(II)およびFe(III)含量

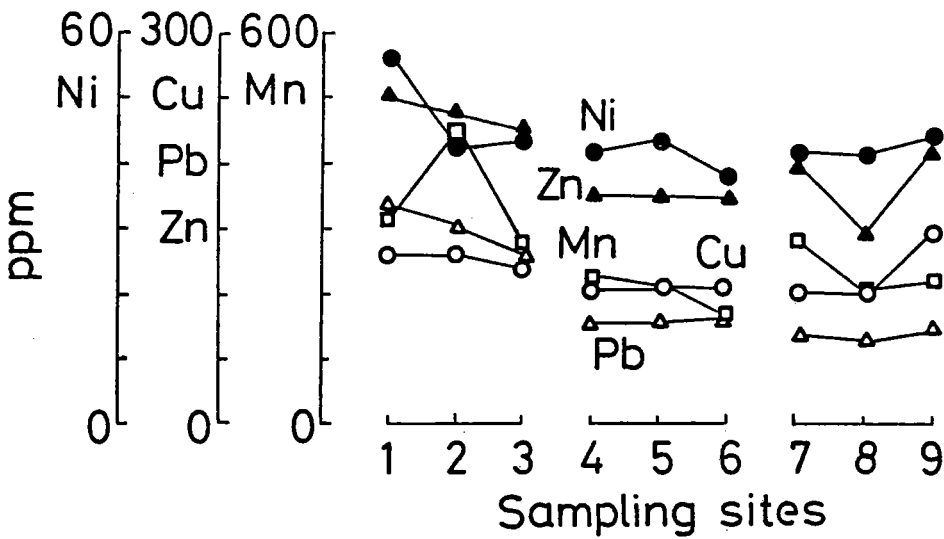


Fig. 18 Heavy metal concentration in paddy soil in Hommachi Farm($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ digestion)

図18 本町農場水田土壌中の重金属含量(硝酸一過塩素酸分解)
サンプリング地点の数字は図2を参照

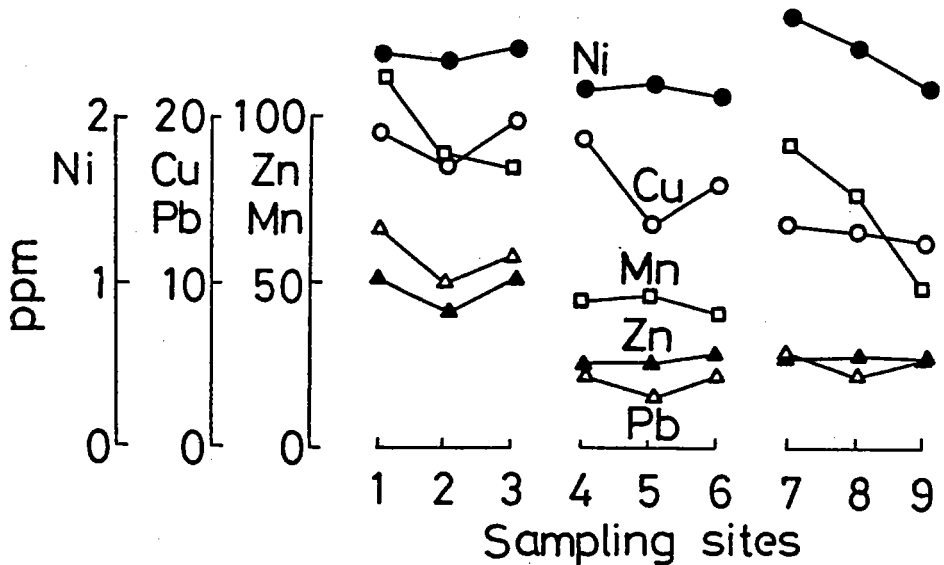


Fig. 19 Heavy metal concentration in paddy soil in Hommachi Farm(0.1 N HCl extraction)

図19 本町農場水田土壌中の重金属含量(0.1 HCl抽出) サンプリング地点の数字は図2を参照

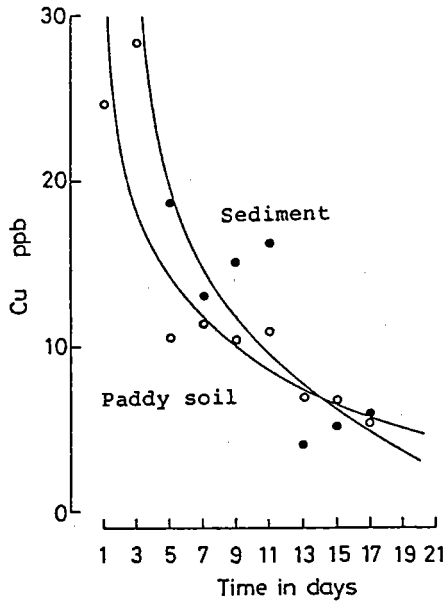


Fig. 20 Elution of copper from the sediment and paddy soil under percolating condition

図20 府中用水底質および本町農場水田土壌からの銅の溶脱

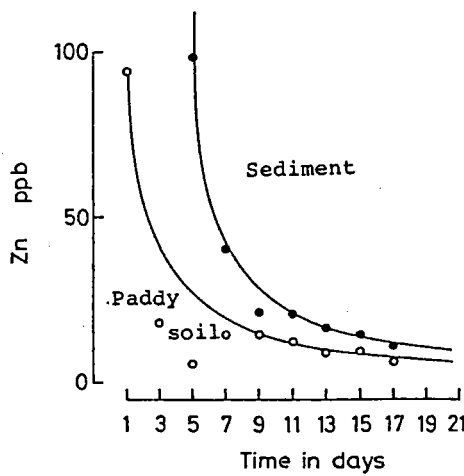


Fig. 21 Elution of zinc from the sediment and paddy soil

図21 府中用水底質および本町農場水田土壌からの亜鉛の溶脱

表1 府中崖線からの湧水に含まれる化学成分

Table 1 Chemical composition of spring water from the Fuchu Precipice Line

	760526	761004	830401	830506	830604	830713	830930	831028	840727	841215	850102	850116	850201	850216	850303	850317	850403
Time	13:00	13:10	10:30	11:00	9:30	11:00	9:45	9:40	15:00	14:20	13:20	15:15	13:45	14:30	15:50	15:10	13:20
Weather	Fine	Fine	Rainy	Cloudy	Cloudy	Fine	Fine	Fine	Fine	Cloudy	Fine	Fine	Fine	Cloudy	Cloudy	Rainy	Fine
TA	23.6	23.9	7.5	18.0	23.0	18.7	16.0	14.0	18.8	8.9	13.5	10.3	12.5	7.0	11.5	6.2	17.5
TW	16.6	17.0	14.5	14.5	16.5	15.0	15.1	15.0	14.9	12.8	9.3	8.7	11.8	14.8	14.5	15.8	
pH	6.00	6.60	6.80	6.28	6.33	6.59	6.58	6.59	6.55	7.24	7.25	7.50	7.56	7.27	6.97	6.47	6.70
EC	256	296	276	263	289	322	297	258	298	354.	308	295	314	305	302	302	301
DO	6.79	6.15	7.55	8.89	8.91	8.81	8.59	8.11		8.83	9.80	7.98	10.9	7.40	12.2	9.4	8.95
%	98.8	90.2	87.7	90.1	94.2	90.3	88.2	83.4		95.7	71.8	46.7	70.6			95.2	93.2
DOC	0.20	0.19				0.28											
TCO2C	15.2	17.0															
TDP	0.78	0.99															
RP																	
NH4-N	nd	nd															
NO2-N	nd	nd															
NO3-N	855	780															
Cl	21.3	21.5															
Flux	0.93	0.75	0.40	1.20	0.90	0.70	0.62	0.41	0.08	0.003	0.02	0.001	0.0003	0.005	2.12	1.30	4.24

EC: dS/m, DO: ppm, DOC: mgC/l, TCO2C:mgC/l, TDP: ugatP/l, RP: ugP/l

NO2-N: ugatN/l, NO3-N: ugatN/l, Cl: mg/l, Flux: l/s

表2 府中崖線からの湧水中の銅および亜鉛濃度

Table 2 Copper and zinc concentration in spring water
at Nishifu-cho, Fuchu

	81		83			84			
	0427	0401	0506	0604	0507	0604	0707	0727	1031
	(ppb)								
Cu	4.75	3.26	5.11	4.43	3.25	3.62	4.33	3.11	3.96
Zn	13.7	17.5	26.3	14.4	14.5	12.3	12.5	12.8	12.2

表3 府中崖線からの湧水中の銅および亜鉛濃度

Table 3 Copper and zinc concentration in spring water at Nishifu-cho, Fuchu

	85										
	0201	0216	0317	0403	0417	0502	0518	0601	0621	0704	0715
	(ppb)										
Cu	2.11	2.06	1.22	0.806	0.713		0.469	0.465	0.304	0.332	0.412
Zn	14.5	8.10	16.3	8.87	8.04	11.8	6.90	6.79	6.60	6.69	7.32

	85							
	0803	0814	0902	0918	1002	1018	1113	1201
	(ppb)							
Cu	0.181		1.12	0.587	0.864		0.867	0.969
Zn	2.71	7.63	3.92	2.60	9.07		9.50	3.84

表4 府中用水中の化学成分

Table 4 Chemical composition of the water in the Fuchu Irrigation Canal

	830401	830506	830604	830713	830930	831028
Time	11:30	11:20	10:00	11:30	10:14	9:50
Weather	Rainy	Cloudy	Cloudy	Fine	Fine	Fine
TA	7.5	19.5	23.0	21.5	15.6	14.0
TW	10.5	16.3	18.0	20.0	16.6	15.2
pH	7.67	7.21	7.13	7.44	7.36	7.29
EC	343	310	361	279	310	336
DO	4.78	6.38	3.80	6.60	3.55	3.88
%	55.5	64.6	40.2	74.7	37.6	40.8

表5 府中用水中の銅濃度

Table 5 Copper concentration in the water from the Fuchu Irrigation Canal at Yaho, Kunitachi

	830401		830506		830604	
	A	B	A	B	A	B
	(ppb)					
Water-1					7.92	8.50
-2	33.7	46.3	29.8	40.6	12.5	16.3
-3					7.34	8.15

A: Dissolved

B: Total

表6 府中用水中の銅濃度

Table 6 Copper concentration in the water from the Fuchu Irrigation Canal at Yaho, Kunitachi

	840507		840604		840707		840727		841031	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	(ppb)									
Water-1					7.92	8.50	8.01	8.25		
-2	31.9	45.2	30.3	42.8	16.3	23.8	19.5	25.5	28.1	35.6
-3			7.44	8.55						

A: Dissolved

B: Total

表7 府中用水中の銅濃度

Table 7 Copper concentration in the water from the Fuchu Irrigation Canal at Yaho

850201		850403		850417		850502		850518		850601		
A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Water-1	2.35	3.67	1.78	5.00	1.94	5.72	1.58	5.72	1.96	5.44	2.35	3.32
Water-3	8.02	8.20	6.26	6.66	2.91	4.55	2.94	3.47	2.75	3.26	2.98	3.97
(ppb)												
850621		850704		850715		850803		850814		850902		
A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Water-1	1.60	5.18	1.40	2.70	3.36	3.85	1.66	4.86	1.35	4.63	2.53	6.36
Water-3	1.94	3.68	1.15	3.51	2.36	4.14	1.74	5.75	1.52	7.09	2.51	8.85
(ppb)												
850918		851002		851018		851113		851201				
A	B	A	B	A	B	A	B	A	B			
Water-1	2.44	6.03	1.83	3.24	1.82	3.34	1.72	2.53	1.27	1.82		
Water-3	2.55	3.81	3.42	3.91	2.61	2.72	5.56	3.57	4.37			
(ppb)												

A: Dissolved B: Total

表8 府中用水中の亜鉛濃度

Table 8 Zinc concentration in the water from the Fuchu Irrigation Canal at Yaho, Kunitachi

	830401	830506	830604
	(ppb)		
Water-1			42.5
Water-2	175	178	83.8
Water-3			26.3

表9 府中用水中の亜鉛濃度

Table 9 Zinc concentration in the water from the Fuchu Irrigation Canal at Yaho, Kunitachi

	840507	840604	840707	840727	841031
	(ppb)				
Water-1			46.3	31.2	
Water-2	157	102	111	122	167
Water-3		28.3			

表10 府中用水中の亜鉛濃度

Table 10 Zinc concentration in the water from the Fuchu Irrigation Canal at Yaho

	850201	850216	850403	850417	850502	850518	850601	850621	850704	850715
	(ppb)									
Water-1	23.5	20.9	26.2	29.2	30.9	31.4	18.0	26.4	15.6	20.0
Water-3	27.3	38.3	18.8	17.5	12.7	15.8	16.9	17.1	18.7	17.3

	850803	850814	850902	850918	851002	851018	851113	851201
	(ppb)							
Water-1	22.4	26.7	29.3	29.7	12.3	12.9	8.85	4.99
Water-3	21.2	29.5	35.0	13.5	10.2	6.45	21.5	14.9

表11 本町農場かんがい用地下水中の銅および亜鉛濃度

Table 11 Copper and zinc concentration in ground water for irrigation in Hommachi Farm

	Metal concentration (ppb)	
	Cu	Zn
Ground water	1.9	14

表 12 府中崖線上総層群シルト層の理化学的性質

Table 12 Physical and chemical properties of the Kazusa Group at the Fuchu Precipice Line, Nishifu, Fuchu

		Silty (Brown)	Silty (Blue)
Depth (cm)			
Texture		SiC	SiC
pH	H2O	7.12	3.29
	KCl	5.60	2.86
EC (1:5) (dS/m)		0.062	
Organic carbon (%)		0.416	0.587
Total nitrogen (%)		0.016	0.029
C/N		26.0	20.3
Available P (mgP/100g)		2.58	0.10
P-Retention (mgP205/100g)		267	395
Exchangeable cations (m.e./100g)	Ca	8.40	6.65
	Mg	5.78	4.91
	K	0.30	0.00
	Na	0.36	0.11

表 13 府中用水底質の理化学的性質

Table 13 Physical and chemical properties of the sediments in the Fuchu Irrigation Canal at Yaho, Kunitachi

		Sediment-1	Sediment-2
Depth (cm)		0-10	0-10
Texture			
pH	H2O	6.75	6.25
	KCl	5.58	5.66
EC (1:5) (dS/m)			
Organic carbon (%)		0.586	0.802
Total nitrogen (%)		0.055	0.067
C/N		10.7	12.0
Available-P (mgP/100g)		3.19	5.64
P-Retention (mgP205/100g)			
Exchangeable cations (m.e./100g)	Ca	2.63	3.85
	Mg	0.64	0.84
	K	0.05	0.20
	Na	0.16	0.22

表 14 府中用水底質の有機態炭素および全窒素含量

Table 14 Organic carbon and total nitrogen content of the sediment in the Fuchu Irrigation Canal

	0401	0501	0715	0917	1021
Org-C (%)	1.34	1.16	0.50	0.72	0.92
T-N (%)	0.15	0.12	0.07	0.09	0.10
C/N	8.93	9.69	7.14	8.00	9.20

表 15 府中用水底質および本町農場水田土壌中の礫含量

Table 15 Gravel content of the sediments in the Fuchu Irrigation Canal and paddy soil in Hammachi Farm

	0506	0604	0713	0930	1028
Sediment-1	84.3	84.4	89.3	76.6	79.3
-2	30.4	53.8	55.7		
Paddy soil	9.0	4.8	2.1	0.4	0.1

表 16 府中用水底質の重金属含量

Table 16 Heavy metal concentrations of the sediment in the Fuchu Irrigation Canal

	0302	0401	0501	0505	0515	0605	0616	0702	0715	0802	0813	0902	0917	1004	1021	1106	1121	1206
	(ppm)																	
Cr	33.0	21.3	12.7	26.8	14.6	22.0	25.7	19.1	22.8	23.4	27.1	42.2	25.8	14.5	16.7	19.9	17.5	18.5
Cu	89.4	50.0	38.4	53.1	40.7	50.8	52.6	51.0	63.2	57.8	68.3	119	62.2	41.0	44.1	45.3	42.2	49.3
Ni	68.7	51.3	42.5	52.9	46.4	53.8	55.2	55.4	63.0	58.4	64.9	90.4	61.2	46.7	50.0	51.7	49.0	47.4
Pb	87.6	46.3	30.6	49.1	32.0	41.6	46.6	45.6	63.2	53.8	66.6	134	56.6	36.7	40.0	44.1	34.3	38.6
Zn	516	300	269	310	213	362	332	295	362	294	342							
Mn	245	224	217	197	218	200	189	281	279	310	511							

表 17 府中用水底質中の重金属含量

Table 17 Heavy metal content of the sediment in the Fuchu Irrigation Canal

		84										85											
		1215	0102	0201	0303	0403	0502	0601	0704	0814	0902	1018	1215	0102	0201	0303	0403	0502	0601	0704	0814	0902	1018
HY-1	Cu	47.0	36.9	51.3	42.5	38.1	39.8	35.1	33.8	36.4	47.2	53.3	47.0	36.9	51.3	42.5	38.1	39.8	35.1	33.8	36.4	47.2	53.3
	Zn	339	308	383	331	310	303	262	269	270	323	374	339	308	383	331	310	303	262	269	270	323	374
HY-2	Cu	85.0	63.7	83.2	100	267	115	114	77.7	94.3	68.8	75.8	85.0	63.7	83.2	100	267	115	114	77.7	94.3	68.8	75.8
	Zn	336	277	285	263	310	331	377	278	284	280	283	336	277	285	263	310	331	377	278	284	280	283

表 18 本町農場水田土壤の理化学的性質

Table 18 Physical and chemical properties of paddy soils
in Hommachi Farm

		Paddy soil-1		Paddy soil-2		Paddy soil-3	
		1	2	1	2	1	2
Depth (cm)		0-10	30-40	0-10	30-40	0-10	30-40
Texture		L	CL				
pH	H2O	7.37	7.01	7.12	6.82	6.71	5.98
	KCl	6.39	6.10	6.18	5.88	5.91	5.26
EC (1:5) (dS/m)		0.165	0.154	0.163	0.150	0.134	0.193
Organic carbon (%)		3.54	3.33	3.48	3.15	3.20	4.00
Total nitrogen (%)		0.316	0.300	0.300	0.321	0.343	0.430
C/N		11.2	11.1	10.4	9.81	9.3	11.1
Availavle-P (mgP/100g)		1.58	1.86	1.35	4.16	2.25	1.67
P-Retention (mgP205/100g)							
Exchangeable cations	Ca	13.0	10.72	12.8	6.29	10.9	9.31
	(m.e./100g)						
	Mg	2.06	1.99	2.67	2.19	2.19	2.46
	K	0.43	1.07	1.20	0.23	0.35	0.53
	Na	0.16	0.22	0.26	0.20	0.11	0.11
Three phase	Vs	36.5					
distribution	Vl	59.2					
(%)	Vg	10.1					

表 19 本町農場水田土壤の理化学的性質

Table 19 Physical and chemical properties of paddy soils
in Hommachi Farm

		Paddy soil-4		Paddy soil-5		Paddy soil-6	
		1	2	1	2	1	2
Depth (cm)		0-10	30-40	0-10	30-40	0-10	30-40
Texture							
pH	H2O	6.60	6.81	7.11	6.54	7.03	6.83
	KCl	5.78	5.82	6.20	5.68	6.17	5.74
EC (1:5) (dS/m)		0.185	0.147	0.157	0.149	0.171	0.154
Organic carbon (%)		4.96	3.57	4.14	3.70	4.5	3.9
Total nitrogen (%)		0.33	0.31	0.37	0.36	0.38	0.37
C/N		14.9	11.5	11.2	10.3	11.8	10.5
Available-P (mgP/100g)		0.81	1.67	2.09	2.20	2.9	2.4
P-Retention (mgP205/100g)							
Exchangeable cations	Ca	12.0	9.32	12.1	9.8	12.4	8.4
	(m.e./100g)						
	Mg	2.04	1.72	2.11	2.10	2.4	1.8
	K	0.72	0.43	0.56	0.20	0.29	0.21
	Na	0.11	0.12	0.10	0.20	0.21	0.26

表20 本町農場水田土壌の理化学的性質

Table 20 Physical and chemical properties of paddy soils
in Hommachi Farm

	Paddy soil-7		Paddy soil-8		Paddy soil-9		A
	1	2	1	2	1	2	
Depth (cm)	0-10	30-40	0-10	30-40	0-10	30-40	0-15
Texture							
pH H2O	6.62	6.64	6.65	6.70	6.55	6.68	6.70
KCl	5.60	5.82	5.80	5.85	5.50	5.49	5.71
EC (1:5) (dS/m)	0.281	0.132	0.168	0.129	0.252	0.222	
Organic carbon (%)	3.50	3.61	4.10	3.85	3.66	3.25	3.74
Total nitrogen (%)	0.37	0.31	0.35	0.31	0.40	0.28	0.30
C/N	9.5	11.7	11.7	11.6	9.2	11.6	12.5
Available-P	6.10	6.61	5.82	5.55	5.02	4.27	1.06
P-Retention							
Exchangeable Ca	8.90	14.7	12.8	11.2	11.5	10.1	12.0
cations Mg	1.7	2.7	2.3	2.2	0.31	0.30	0.26
(m.e./100g) K	0.34	0.41	0.40	0.35	0.31	0.30	0.54
Na	0.19	0.23	0.23	0.18	0.25	0.22	0.26

表21 府中用水底質および本町農場水田土壌中の銅および亜鉛含量

Table 21 Copper and zinc concentration of the sediment in
Fuchu Irrigation Canal and Paddy Soil in Hommachi Farm

	Concentration (ppm)	
	Cu	Zn
Fuchu Irrigation Sediment (n=18)	56.6	313
Hommachi Farm Paddy Soil (n=18)	114	198

表 22 府中用水底質および本町農場水田土壌の銅および亜鉛存在量

Table 22 Amount of copper and zinc in the sediment from the Fuchu Irrigation Canal and paddy soil in Hommachi Farm

	Amount (kg·ha ⁻¹)	
	Cu	Zn
Sediment	56.6	313
Paddy soil	114	198

Plowed layer: 10 cm

Bulk density: 1

表 23 本町農場の水稲生産量

Table 23 Rice production in Hommachi Farm

Organs	Part of organs	kg·ha ⁻¹
Ears	Brown rice	4650
	Husk	1100
Stem and leaf		4300

表 24 水稲体内における銅および亜鉛の分布

Table 24 Distribution of metals among organs of rice plant

Organs	Part of organs	Metal concentration (ppm)	
		Cu	Zn
Ears	Brown rice	3.55	24.7
	Husk	4.21	26.2
	Rachi branch	5.55	18.0
Leaf blade		3.55	34.1
Leaf sheath and culm		2.27	26.8

表 25 水稻による銅および亜鉛の吸収

Table 25 Heavy metal absorption by rice plant

	g·ha ⁻¹
Cu	33.6
Zn	275

表 26 府中市における降水量

Table 26 Amount of precipitation at Fuchu

	mm						
	Jun	Jul	Aug	Sep	Jun-Sep (A)	Year (B)	A/B x100
1975	221	122	187	97	627	1716	37
76	152	102	112	472	838	1640	51
77	183	85	308	319	895	1502	60
78	94	73	16	146	329	979	34
79	67	112	63	208	450	1617	28
80	109	168	190	216	683	1499	46
81	90	167	129	138	524	1400	37
82	180	212	251	394	1037	1647	63
83	143	138	258	240	779	1350	58
Mean	138	131	168	248	685	1483	46

表 27 本町農場水田における水収支

Table 27 Water balance in Hommachi Farm

	mm			
	Precipitation	Irrigation	Duty of water	Percolation
Cultivated	685	2690	3375	2666 (79)
Non-cultivated	798	-	798	710 (90)
Total	1483	2690	4173	3376

Parentheses represent percent of percolation to the net duty of water.

表 28 本町農場水田からの銅および亜鉛の溶脱

Table 28 Concentration of copper and zinc in the leachate and elution amount from paddy soil

	Metal concentration (ppb)		Elution amount (g·ha ⁻¹)	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Hommachi	6	32	135	1080

表 29 本町農場水田における銅および亜鉛の収支

Table 29 Heavy metal balance in Hommachi Farm

	g·ha ⁻¹				Balance
	Input		Output		
	Irrigation	Fertilizer	Elution	Absorption	
Cu	65	12	203	34	-160
Zn	473	59	1080	275	-823

表 30 本町農場水田における銅および亜鉛の半減期

Table 30 Half-life of heavy metals in Hommachi Farm

	Input	Output	Present amount	B/C x 10 ³	Half-life
	A	B	C	y	y
	g·ha ⁻¹ ·y ⁻¹	g·ha ⁻¹ ·y ⁻¹	g·ha ⁻¹ x 10	y	y
Cu	77	237	114	2.1	640
Zn	532	1355	198	6.8	260

$$A = A_0 e^{-\lambda t} + \frac{I}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

where A: Present amount

A₀: the amount when t=0

λ: elution ratio

I: constant input from irrigation water and fertilizer

t: time when the amount will be reduced to a half of the value at start