

水質悪化未利用ため池の水質改善法

井上久義・内田晴夫・細川雅敏

Key words: ため池, 水質改善, EC, ハウス, 雨水

目 次

I 緒 言	15	4 雨水導入による水質の変化	21
II 地区の概要および調査方法	16	IV 考 察	22
1 対象地区	16	1 導水による対象池のEC変化特性	22
2 未利用ため池の状況(2003年)	16	2 EC変化特性値による現象の再現	23
3 雨水の導入(2004年)	18	3 少雨年における効果	24
4 集水面積の拡大(2005年)	19	4 ハウスからの雨水の導入効果の評価	24
III 結 果	19	V 摘 要	25
1 ため池の水質特性	19	引用文献	26
2 雨水導入によるEC値の変化	20	Summary	28
3 集水面積拡大によるEC値の変化	21		

I 緒 言

四国地域の瀬戸内地域や島嶼部では水資源が乏しく、夏季ばかりでなく冬季にも干ばつ状態となる水不足が深刻な問題となっている。特に、周年栽培を行う集約型園芸作では水資源の確保が重大な課題となっている。このため、節水灌漑技術として点滴灌水チューブが一般的に用いられるようになってきたが、利用現場では、水資源の量的な問題に加えて、水質の悪化がフィルターが目詰まりの原因となり重要な問題となっている。これらの課題を克服するには、灌水流量を従来の点滴灌水チューブの1/10程度にできる新発想の技術、あるいは少水量の均一灌水を高頻度に行い、作物生育にとって理想的な根域養水分状況を低コストで実現できる技術開発が必要となる。このような背景のもと、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「拍動自動灌水装置を機軸とする資源利用型低コスト園芸技術の開発」(平成15~17年度)において、小型灌水器具(パルセータ

ー)を用いた間欠式自動灌水装置(特許出願中)を利用して毎分3~5L程度の小流量で可能な超節水型灌水技術の実証的な研究が行われた(吉川ら, 2005²⁸), 吉川ら, 2005²⁹), 村口ら, 2006¹⁰), 井上ら, 2006⁵)。この中で、本課題は、水源の乏しい地区でパルセーター式灌水装置による環境保全型花き養液栽培技術の開発の一環として、水質悪化未利用ため池を水源として利用する低コストで簡便な水質改善技術について検討を行った。

ため池の水質改善については、これまで自然の浄化機能を活用する方法や人工的な施設等を利用する方法など数多くの研究がなされてきた。自然の持つ浄化機能を活用する方法としては、水田(伊藤, 1985⁷), 三沢, 1987⁹)等)や休耕田(田淵ら, 1993¹⁹), 1996²⁰), 千家ら, 1993¹⁷)等)又は湿地(端ら, 1996⁴)等の持つ脱窒などの浄化機能を利用して、地域内で畑などからの排水を一旦水田等を経由させる地形的な連鎖や(小川, 1998¹⁴), 排水の反復利用(金木, 1991⁸)によってため池に流れ込む水のある程度きれいにするによって池の浄

(平成18年3月15日受付, 18年6月27日受理)

傾斜地基盤部

化を図ろうとする方法があげられる。また、池の中にハス（福島・岩田，1989²⁾等）やホテイアオイ（岡本ら，1982¹⁵⁾，石井ら，2001⁶⁾等），オオサンショウモ（嶋田ら，1988¹⁸⁾，渡邊ら，1988²¹⁾等）を繁殖させ栄養塩類を吸収させるような池の植生による浄化方法についても示された。一方，人工的・機械的な浄化法としては，池の浚渫による方法（岡本・小林，1997¹⁶⁾）や木炭（矢田貝ら1995²⁵⁾，山岡・凌，2004²⁴⁾）やセラミックス（福元ら2003¹⁾）を用いた方法が検討されると共に，規模が大きなものとしては接触酸化法（端・橋木，1993³⁾，中曽根ら，1996¹²⁾）や回分式活性汚泥法（山岡ら，1994²²⁾，1996²³⁾）などの方法が示されてきた。

本報告においては，中山間傾斜地の畑地域において水質が悪化した放棄ため池を水源として活用するための水質改善方法の検討を目的としているため，水田や湿地等による浄化機能の活用が難しく，水路の改修や施設の設置などによる方法はコストが嵩むため除外した。そこで，必ずしも一般的ではなく本実証事業対象地区での一事例にはすぎないが，今後の傾斜地域でのため池利用の一方法として，対象とする地区内にある園芸用ハウス（以降，ハウスと呼ぶ）を利用し，その雨水を集めて池に導入し希釈によって浄化する方法について検討することとした。ハウスを導入した集約型施設園芸地域においては，屋根に降った雨水のほぼ100%が地区に流出し，その処理が重要な課題となっている。雨水をため池に導入し灌漑用水として活用する方法は，雨水の有効利用に加えてハウスからの流出水による周辺への影響を緩和する効果が期待されることから，今後の灌水システムを考える上での有用な方法の一つとなると考える。

水源の乏しい中山間傾斜地において新たに散水施設を設けるためには，その水源確保が非常に重要な課題となる。しかし，その対策として一般的な方法を示すことは難しく，その対象地区の実情に応じた個別の対策を取っていく必要がある。ここでは，水源確保の一事例として，香川県高瀬町の実証圃場において行った，近傍にある放棄され水質の悪化した未利用ため池にハウスに降った雨水の導入による水質改善に関する試験結果について報告する。

II 地区の概要および調査方法

1 対象地区

対象とした地区は香川県西部の高瀬町にある畑作農家圃場である（第1図）。地区は多度津町近辺の海岸近くに位置するが，火上山（409m）および我拝師山（481m）裾野の谷地形の緩傾斜地にあたる。近傍の多度津町のアメダスデータから，1995～2004年の平均降雨量は1,045mmで同じ香川県内でも引田（1,734mm）や高松（1,108mm）に比べても降雨は少なく，瀬戸内の少雨地帯に属する。周囲には図に見られるように多くのため池が存在する。

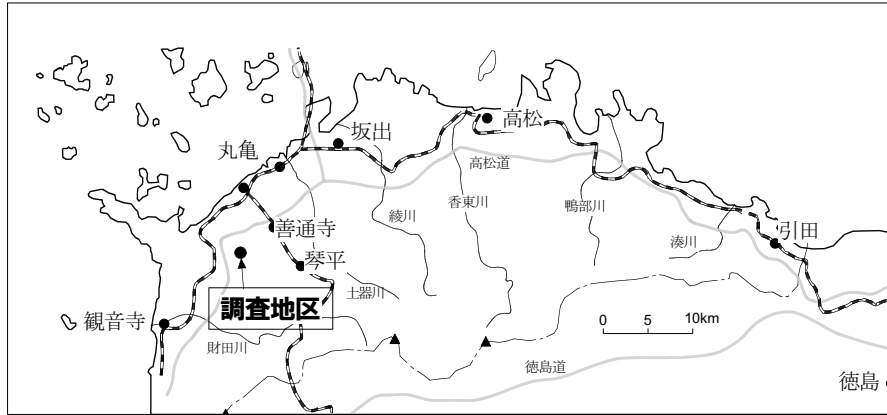
本高度化事業における拍動灌水システムは，第2図に示すように太陽電池を利用したモーターで池の水をくみ上げ，池から約30m上の貯水タンクに水を貯め，この落差水圧を利用して拍動灌水を行うというものである（吉川ら，2005^{26, 27)}）。

本試験における水質測定にあたっては，COD やクロロフィルの値は計測機器等の関係から測定することができなかった。ため池等の水質の悪化は栄養塩類が池に流入し植物性プランクトンが繁殖することによっている。栄養塩類の増加は電気伝導度（以降 EC と表す）を明瞭に反映し，また，例えば第3図に見られるように植物プランクトン（クロロフィル）量なども明確に EC 値を反映している（村岡・福島，1981¹¹⁾）。このように，EC 値はため池等の水質悪化を知る上での重要な指標の一つとなり，また，簡便に正確な値を測定することができる。このため，ここでは，EC の値を中心として，ため池の水質状態を検討していくものとした。なお，EC 値等の計測は，現場の状況をそのまま知るため，ホリバの水質チェッカーを用いて行った。

なお雨水については直接採水を行わなかったが，ハウスの屋根から桤に集まる水について，3年間の調査期間中，ほぼ1ヵ月間隔程度で EC 値の計測を行った。この結果，ハウス屋根から集まる雨水は10～40 μ S/cm程度の値を示した。

2 未利用ため池の状況（2003年）

第4図は対象とするため池の形状およびその水深の分布を示す。この池の水深は最大で2.9m，深さ約

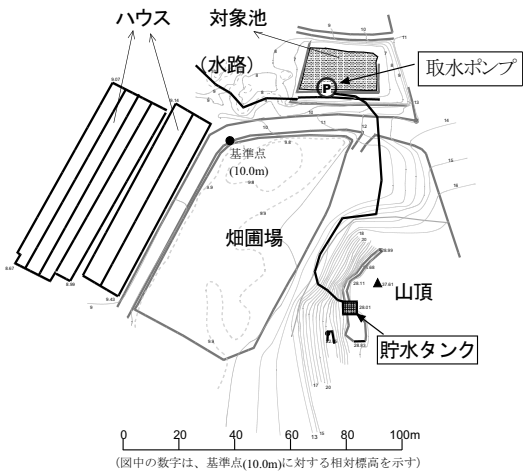


(a) 調査地区の位置

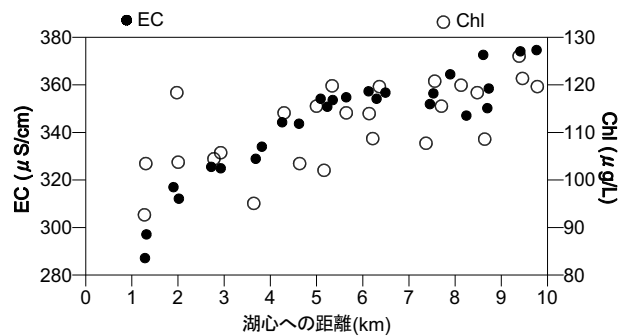


(b) 調査地区の地形状況

第1図 調査地区の概要

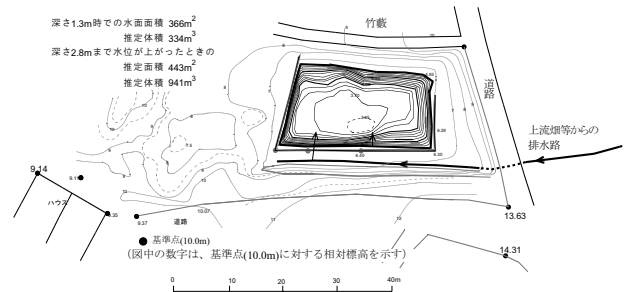


第2図 試験地区の状況



第3図 電気伝導度と植物プランクトン（クロロフィル）量の変化（村岡ら，1981¹¹⁾より）

1.3m付近までコンクリートブロックによるライニングが施されている。このため深さ1.3mの時は水面面積370m²、推定水量は約330m³であるが、深さ2.9mの満水時には水面面積440m²（約30m×15m）、推定水量約940m³となる。なお、池の状況を写真1に示す。



第4図 ため池の状況

2003年は、未利用ため池の状況を把握するため、5月から11月にかけて適宜間隔を開けて水質チェッカーを用いて池水の pH, EC, DO, 濁度および水温の計測を行った。また、これと同時に採水しアニオン Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , およびカチオン Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} の濃度をイオンクロマトグラフによって計測した。

なお、2003年は降雨量計の手配が遅れ、高瀬町現場への降雨計設置が間にあわなかったため、降雨量については試験地東方約4kmに位置する四国研究センターにおける降雨データを採用した。

3 雨水の導入 (2004年)

対象池の近傍にあるハウスからの雨水を導入するための施設を2004年4月に設置した(第5図)。構造は単純で、ハウスの樋からの水をハウス近くに設置した排水枡に導き(写真2)、導水管(φ100mm)で池に雨水を流入させる(写真3)というものである。対象としたハウスの大きさは17×60m(面積=1,000m²)であるが写真のように二棟連棟で、棟方向のほぼ中央で水が左右に分かれて流れるため、た

め池への受枡の集水面積はハウス屋根面積の1/4の250m²となる。

2004年は対象地区の降雨量を継続的に観測すると共に、このハウスからの池への雨水導入による池水質への効果を知るため、ほぼ1週間間隔で2003年と同様に水質チェッカーによる池の現場の水質状況を調べると共に、適宜採水し2003年と同じ項目につい



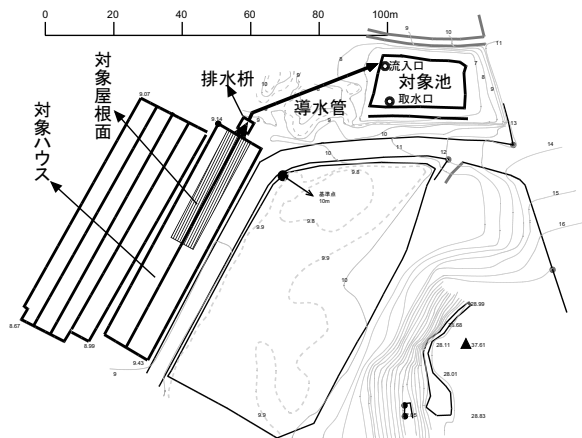
写真2 排水枡付近



写真1 対象池の概要 (2003年4月)

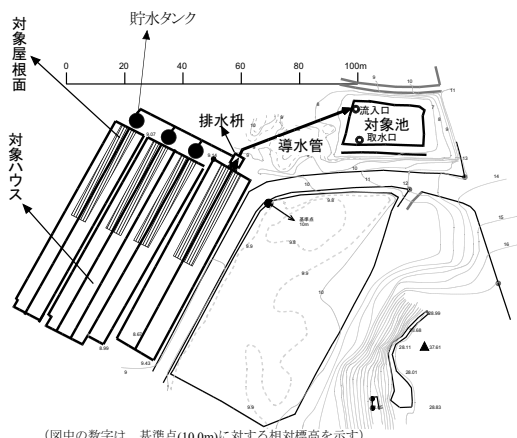


写真3 池への流入口



(図中の数字は、基準点(10.0m)に対する相対標高を示す)

第5図 ハウスから池への水の導水 (2004年度)



(図中の数字は、基準点(10.0m)に対する相対標高を示す)

第6図 ハウス集水面積の拡大 (2005年度)

での溶存イオン濃度をイオンクロマトグラフによって計測した。

4 集水面積の拡大 (2005年)

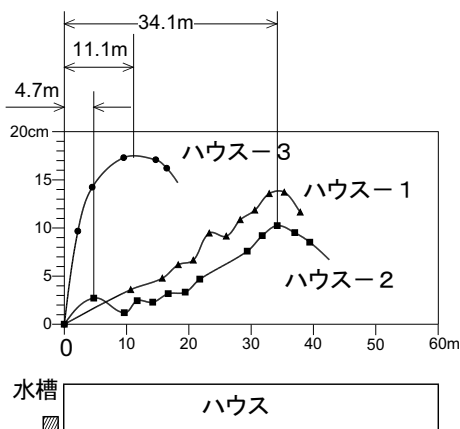
2005年はハウスの集水面積を拡大するため、2004年度に利用したハウスに隣接する3棟連棟のハウス(いずれも $60 \times 17\text{m}$, $1,000\text{m}^2$)からの雨水もため池に導水した(第6図)。これは、ハウスの下に貯水



写真4 ハウス下の集水用タンク



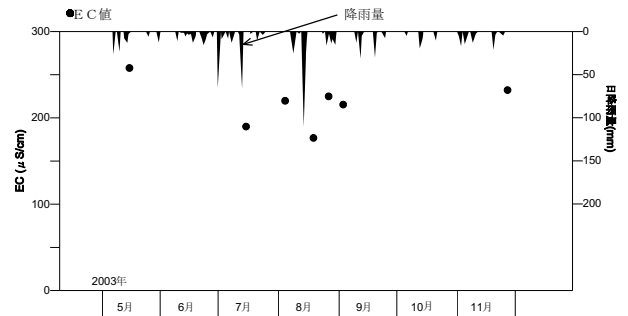
写真5 集水面積拡大時の遠景



第7図 対象ハウスの屋根の勾配

タンクを設置し(写真4),それからPEパイプによって受け枡まで水を導いて池に水を引くようにするという方法で行った(写真5)。このとき,新たに加えたハウスは地形条件が悪いところに建てられているため,最初のハウスのように棟方向中央で分けることができず,縦断方向の屋根の勾配は第7図に示すようにいびつであり,実質の集水面積の増加分は約 270m^2 となった。この結果,増設後の集水面積は 520m^2 となった。増設は2005年7月末頃に行っていたが,パイプの接続等の関係から実質稼働したのは8月末頃からとなった。

2005年においても2003,2004年度と同様に対象地区の降雨量を継続的に観測すると共に,このハウスの集水面積の拡大による池の水質変化への影響を知るため,ほぼ1週間間隔で2004年と同様に水質チェッカーによる池の現場の水質状況を調べると共に,適宜採水し2004年度と同じ項目についての溶存イオン濃度をイオンクロマトによって計測した。



第8図 対象池のECの変化 (2003年)

III 結果

1 ため池の水質特性

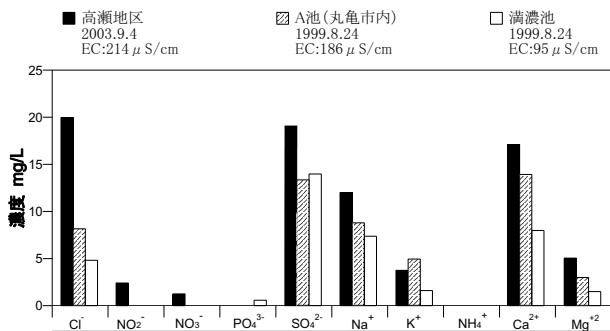
第8図には対象とする池のハウスからの導水前の2003年5~11月のEC値の変化を示す。測定点数は少ないが,期間中ECの値は $200\mu\text{S/cm}$ を超える高い値で推移し,時には $250\mu\text{S/cm}$ 以上となる場合も認められた。農業(水稻)用水基準でのEC値基準は $300\mu\text{S/cm}$ 以下であり,基準値は超えていないもののほぼそれに近い値を示していた。また,pHは9.5(基準値6.7~7.0)近くなる場合も見られた。なお,日本の河川の平均的なEC値は約 $100\mu\text{S/cm}$ であり,ここでは河川取水程度の水質を目指すものと

して一応の改善の目安を100 μ S/cm程度とした。

第9図には香川県内の比較的きれいな池である満濃池と丸亀市内にある比較的汚れたA池と対象池との溶存イオン濃度の比較を示すが、対象とした池は、これらのため池と比較しても相当富栄養化が進み汚れている状況にあるといえる。写真6には2003年5月の対象池の水面の状態を示すが、富栄養化の状態を反映し、水草や藻類の繁殖が認められた。

地区での降雨量は第8図の中に示す。2003年は比較的降雨量の多い年であり年間1,220mm、5月から11月の測定期間中890mmの降雨が認められた。

この池は上述のように地区の小さな谷部に位置しているため、周辺部分からの排水等の流入がある。第4図には池付近の水路等の状況を示しているが、池への主な流入は、畑地や果樹園、民家等が広がる上流からの排水が水路を通して流入するもので、このほか、道路や隣接する竹藪等々からの流入がある。また、地形上、浸透水の池への湧出も考えられる。加えて、池の底に堆積した底泥からの溶出や蒸発による濃縮、池面に降る雨水による希釈なども池の水質に影響しているものと考えられる。このような周辺環境からの種々の諸作用の総和として対象池の上



第9図 対象池と他のため池との水質の比較



写真6 対象池の状況 (2003年5月)

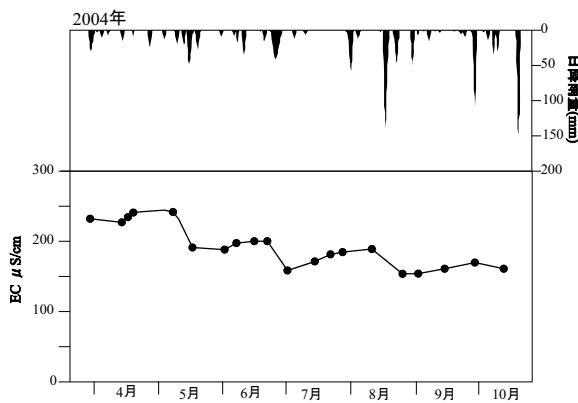
述のような水質環境が形成されているものといえる。

なお、池に流れ込む水路は池からの余水吐きをかねており、池の水位が低い時は池へと水が流入するが、池の水位が上がると流入口から池の水が排除され、水路を伝わりさらに下流へと流下するような構造となっていた。

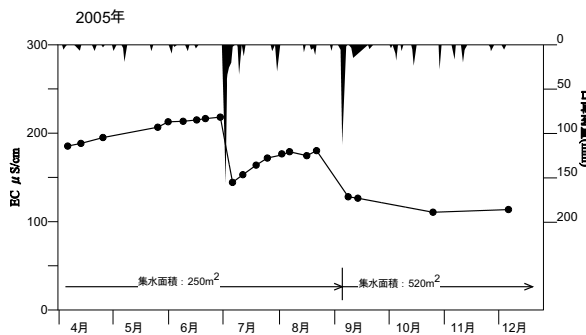
2 雨水導入による EC 値の変化

第10図には、2004年4月16日にハウスから池への導水工事を行った以降の池の EC 値の変化を示している。なお、降雨量は7月から地区での降雨観測を開始したため、それまでは四国研究センターのデータ、それ以降は調査地区のデータを用いている。2004年は四国地方に10個の台風が来襲し4月から10月の測定期間中に1,650mm、年間1,940mmの降雨があり、非常に降雨が多い年であった。

ハウスからの導水を行った2004年における池の EC 値は、降雨があるたびにステップ状に減少する傾向が見られた。降雨は池の表面にも直接降ってお



第10図 対象池のECの変化 (2004年)



第11図 対象池のECの変化 (2005年)

り、こうした EC 値の減少は、直接池面に降る雨の影響とも考えられる。しかしながら、池への導水を行わない2003年のデータでは、降雨があっても池の EC 値はほぼ $200\mu\text{S}/\text{cm}$ 前後の値を示し、2004年のようなステップ状の EC 値の減少はほとんど認められなかった。このため、こうしたステップ状の EC 値の減少はハウスからの導水による影響であると推定された。

3 集水面積拡大による EC 値の変化

第11図に2005年の対象池の EC 値変化を示す。2005年は4～10月の降雨量は790mm、年間約1000mm程度であったが、そのうち280mmは7月1日から5日に、200mmは9月4日～7日の間に降ったもので、梅雨が見られない変則的な雨の降り方を示した年であった。

EC の値は4月6日の時点で $186\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であったが以降ほとんど雨が降らないため6月末で $220\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度まで上昇した。その後7月初旬（約280mm）と9月初旬（約200mm）の降雨により大きく減少し9月11日には $100\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度まで減少した。以降、EC 値は $100\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の値で推移し、2006年2月の計測においても、EC 値は $104\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。

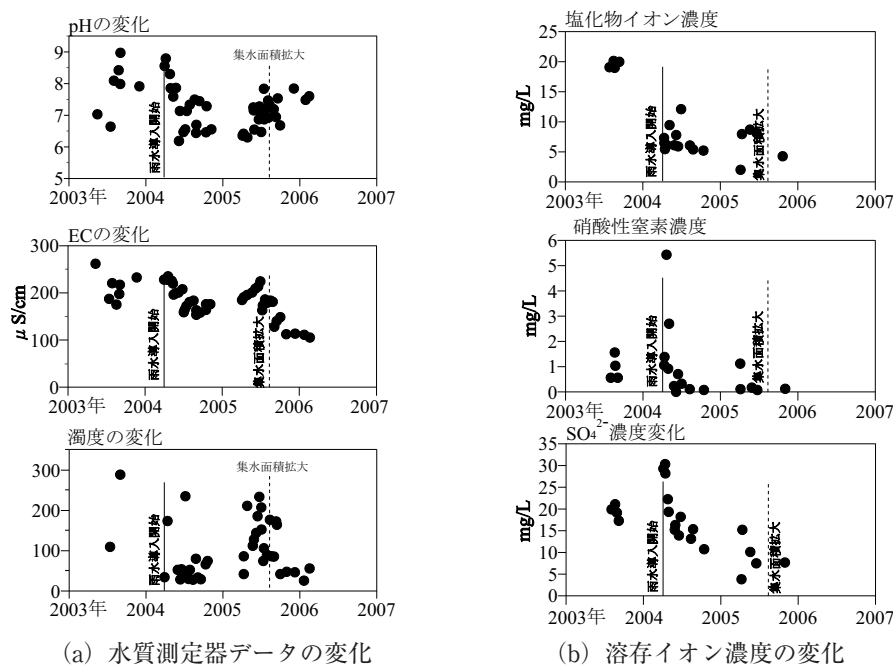
2005年も2004年と同様に降雨に伴って階段状に EC 値が減少する傾向が明瞭に把握され雨水導入の効果が確認された。しかしながら、2005年8月末からハウスの集水面積を 250m^2 から 520m^2 に拡大して雨水の導入を行ったが、その影響については、データ数が少ないこともあり第11図のみからは明確に把握することはできなかった。

4 雨水導入による水質の変化

第12図には、2003年から2006年にかけての測定期間中における、主要な水質測定項目の変化を示す。測定および採水場所は雨水流入口からおよそ20m離れた取水点付近（第5図）の水面下20cm付近である。

水質計の主な項目の変化を第12図（a）に示す。pHについては上述のように水質導入前は農業用水基準（ $\text{pH}6.0\sim 7.5$ ）上回る9～9.5あたりの値を示すことがあったが、導入後はほぼ7～8の値を示すようになった。濁度については濁度計不調のため2003年は十分なデータが得られなかったが、雨水導入によって減少する傾向が認められ2005年は20～30度の値を示した。

一方、採水による主なイオン濃度変化の計測結果は第12図（b）に示す。なお、アンモニウムイオンとリン酸イオンは期間中ほとんど検出されなかつ



第12図 雨水導入の効果

た。イオン濃度はいずれも水質基準を上回ることがなかったが、人工的な排水の指標とされることが多い塩化物イオン濃度や上流にある畑からの肥料成分由来とも考えられる硝酸性窒素や硫酸イオン濃度などいずれの濃度も雨水導入後明瞭に低下した。

雨水の導入によって EC 値が減少し、それとともに溶存イオン濃度も低下し、濁度やpHなども改善され、水質が悪化したため池の水質が十分改善されたと判断された。このため、以降、EC 値を指標として考察を進めていきたい。

Ⅳ 考 察

1 導水による対象池の EC 変化特性

EC 値の変化は、ハウスからの雨水導入時には、降雨があるとステップ状に減少して行く傾向が明瞭に現れていた。これは、降雨量は異なるが、降雨があるにもかかわらず、ほとんど EC 値の変化が見られなかった2003年のデータ(第8図)と比較するとその違いは明確であり、これはハウスからの雨水導入による影響を受けていると考えることができる。

EC 値の変化を詳しく見ると、降雨による減少以外の部分では徐々に増加する傾向を示していた。池の水質は、周辺からの排水の流入、底泥からの溶出、蒸発による濃縮等種々の作用を受けて形成されているが、本報告では、これらそれぞれについての量的な把握は行えず、その寄与程度については不明である。しかしながら、第8図に示したように、雨水導入前の池の EC 値は一定の増加・減少の傾向を示さず、ほぼ200~250 $\mu\text{S/cm}$ のあたりで安定している様子が見えかけた。これから、池は、周辺から種々の作用の総和によって決まるある安定した水質環境を形成していたものと想定された。このような状況下で、ハウスからの雨水導入という急激な攪乱が池に生じた場合、周辺の状況には変化はないため、攪乱後、池の水質は元に戻ろうとする方向への変化が生じるものと考えられる。このように仮定するとき、EC 値の変化に見られる増加は、周辺から受ける種々作用によって、元の200~250 $\mu\text{S/cm}$ あたりに戻ろうとする変化であるものと考えられる。

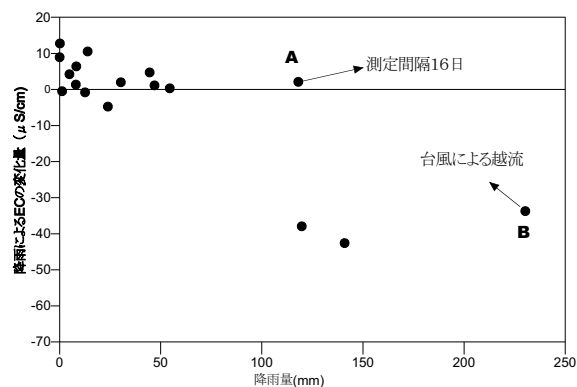
これらから、対象池の水質、特に EC 値の変化は雨水導入による急激な減少とそれに対抗する恒常的

な増加によって表されるものと推定される。

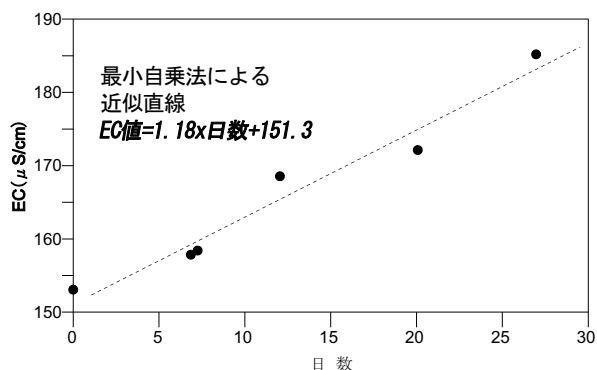
2004年の測定期間中5~7日間隔で池の水質測定を行ったが、その測定間隔内の降雨量と EC 値の減少量の関係を第13図に示す。

雨水が流入することによる希釈効果によって池の EC 値は減少するため、降雨量が増加すると EC 値の減少量も増加するであろうことは容易に想定できるが、そのような傾向が明瞭に認められた。この中で、A点とB点は全体からはずれているが、A点は、降雨量が多いものの測定間隔が半月を超えてしまった場合の点で、B点は台風の豪雨により池の水位がライニングの高さを超え、周囲からも大量の土砂の流入が見られた場合である。これらの異常値を除いて EC 値の減少値と降雨量の関係を整理して示したのが第14図である。データ数が少なく、必ずしも十分なことは言えないが、池に導入される雨水の増加に伴って直線的に EC 値が減少していく傾向が認められた。

一方、池の水の EC 値の増加状況を無降雨日数との関係で整理したものを第15図に示す。EC 値の増



第13図 測定間隔内の降雨量とEC値変化量



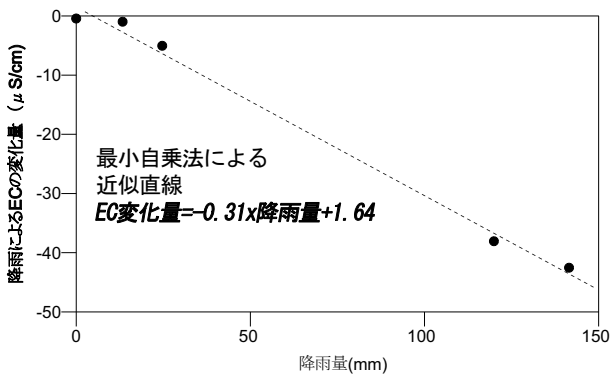
第14図 EC値減少部と降雨量の関係

加も日数の増加に伴って直線的な増加となる傾向が認められた。

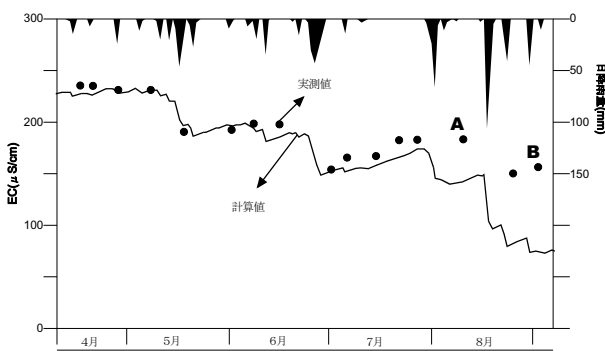
降雨による EC 値の減少や無降雨日数による EC 値の増加は直線的に無限に減少・増加するのではなく、本来、ある一定の値に収束するような漸近線状の曲線を示すものと考えられる。しかしながら、今回のように限られた EC 値の範囲内では概ね直線として近似しうるものとしてここでは扱うものとする。このとき、最小自乗法によって求めた直線の傾きは、降雨による EC 値減少係数 = $-0.31 \mu\text{S/cm/mm}$ 、EC 値の自然増係数 = $1.18 \mu\text{S/cm/日}$ となった。

2 EC 変化特性値による現象の再現

第16図には上の関係を用いて、2004年降雨データから推定した対象池における EC 値変化の計算結果を示す。8月の台風時の豪雨の影響による池への土砂やゴミの流入、池の水のオーバーフローなどによるものと考えられる第13図のAまたはBに相当する部分で計算値が大きく過小評価してしまっているが、それ以外は上の関係を用いた計算によって EC



第15図 EC値の増加と無降雨日数の関係



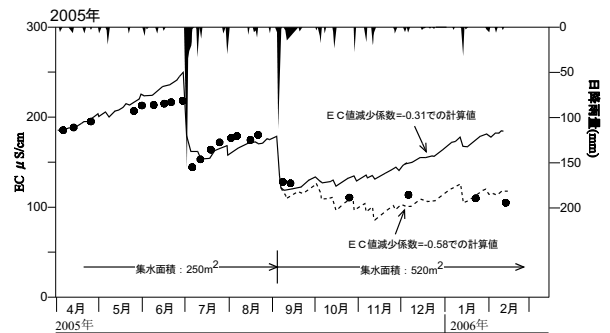
第16図 2004年のEC値変化の推定値

値の変化を非常に良く表している。

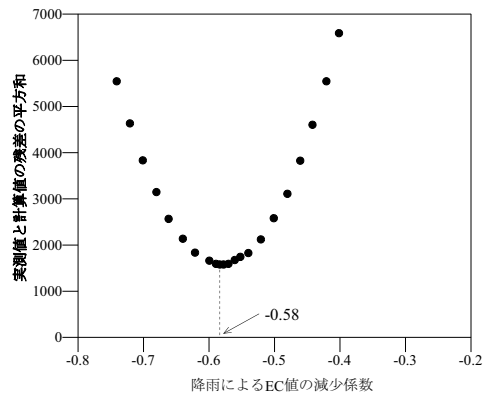
本計算にあたって用いた、降雨による EC 値の減少係数と恒常的な増加係数は2004年の実測データから求められている。このため、2004年の実測データと計算値がよく合うのはある意味当然とも考えられる。そこで、この係数を用いて2005年の降雨についての計算を行った結果を第17図に示す。

2005年度についてもこれらの係数を用いた計算によって、図に示すように実際の EC 値変化をかなりよく表すことができる。このことから、対象としたこのため池においては、EC 値の変化は、ハウスの雨水の導入による減少過程と、池の立地環境によって決まる安定状態に戻ろうとする上昇過程の二つのメカニズムを組み合わせることによってよく表しうるものといえる。

ただし、ハウスの集水面積を拡大し、池への導水量を増やした2005年9月以降では、集水面積250m²での降雨による減少係数 ($-0.31 \mu\text{S/cm/mm}$) を用いて計算した結果は、実測値と比べて過大な値を示し、現象をうまく表すことができなかった。9月以降は集水面積を拡大した以外に大きな条件の変更



第17図 2005年のEC値変化の推定



第18図 集水面積拡大時の降雨によるEC値減少係数の推定

はなく、この不適合は集水面積拡大の影響によるものと推定された。集水面積が拡大することによってため池への導水量が増大する時、雨による EC 値の減少係数が大きく影響される。そこで、2005年9月以降の EC 値の変化を表現するための係数を求めるため、実測値と計算値の残差の平方和を指標として検討を行った(第18図)。この結果、EC 値の減少係数 $= -0.58 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{mm}$ の時、かなり良く実測値と合わせることができた(第17図)。

以上から、集水面積が 250m^2 の場合は EC 値減少係数 $= -0.31 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{mm}$ 、集水面積が 520m^2 の場合は $-0.58 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{mm}$ として以下の検討を進めるものとする。

3 少雨年における効果

2004年には容量約 940m^3 の池に対して、ハウスの屋根面積 250m^2 からの雨水を池に導入した。測定の結果、台風による土砂やゴミの混入などの攪乱を受けたものの、この集水面積でも EC 値が明確に減少し、かなりの水質の改善が望めるものと期待された。同様に2005年においても集水面積 250m^2 の場合でも明確に EC 値が減少し、雨水導入による水質の改善効果は十分に認められた。ただし、2004年は4月から10月の測定期間中に $1,650\text{mm}$ もの降雨があり極めて降雨の多い年であり、2005年は4月～10月の降雨量は約 800mm と平年並みであったものの7月および9月に集中的な降雨が見られた年であり、何れも比較的潤沢な降雨によって効果が得られたものとも言える。

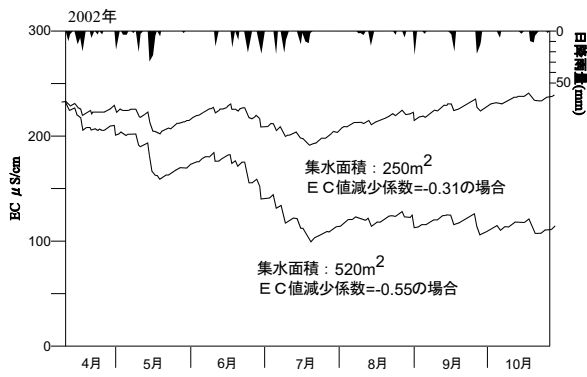
しかしながら、第17図に示したように、冬季の少雨時期には集水面積 520m^2 では EC 値を100程度に維

持し得たものの、集水面積 250m^2 では EC 値が上昇し4月時点の値に戻ってしまうような傾向がみられた。このため、降雨が潤沢なときだけでなく、少雨時についても集水面積による EC 値変化への効果程度の違いについて検討をしておく必要がある。

例えば、2002年は4～10月の同期中に 500mm 程度の降雨しかなく極めて少雨の年であった。期間中 500mm 程度では池容量 940m^3 に対し集水面積 250m^2 では 125m^3 の水が、 520m^2 でも 260m^3 の水が池に流入するに過ぎない。小水量灌漑の水源として利用するためには何れの年にも安定した水質の水を提供することが望まれるため、2002年のような少雨年について前項で述べた関係を用いて EC 変化の推定を行った。推定にあたっては、高瀬地区での2002年の降雨量データがないため四国研究センターにおける降雨量データを用い、開始時点の EC 値を2004年と同じ $230 \mu\text{S}/\text{cm}$ とした。

第19図には、2002年の場合の EC 値変化を推定した結果を示す。なお、4月から10月の降雨量は 525mm であった。この間は2004年のような豪雨はなく土砂の混入も想定されないことから、ほぼ推定値に大きな誤差は生じないものと考えられる。

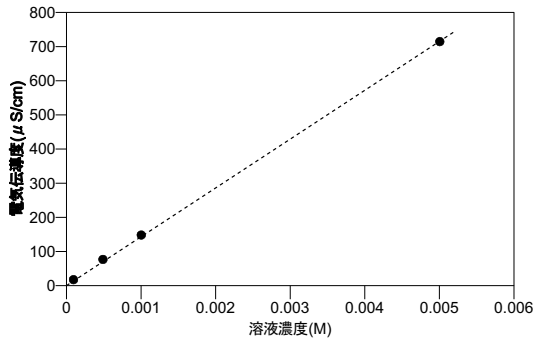
250m^2 の集水面積では 500mm 程度の雨では EC 値は $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ あたりから全く減少せず、雨水導入による効果はほとんど望めないものと推定された。一方、集水面積 520m^2 の場合、集水面積 250m^2 の場合とは異なり、 500mm 程度の降雨でも EC 値を100程度まで減少させることができるものと推定され、 940m^3 の池に対しては 500m^2 程度の集水面積があれば、何れの年においてもほぼ効果的に池の EC 値を減少させるものと考えられる。



第19図 少雨年(2002年)におけるEC値変化の推定

4 ハウスからの雨水の導入効果の評価

上では、ハウスからの導水による池の水質改善効果について EC 値を指標として検討を行ってきた。この結果、今回の測定地区である高瀬地区の環境条件下に存在する 900m^3 程度のため池に対しては、集水面積が 520m^2 であると年間 500mm 程度の降雨でも EC 値を $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度まで減少させることができるものと推定され、 940m^3 の池に対してはこの位の面積があればほぼ効果的に池の EC 値を減少させるものと考えられた。しかしながら、現場にかかる



第20図 溶液濃度と電気伝導度 (EC) の関係

技術を適用していく場合、種々の大きさのため池がありそれに合わせてどの程度の集水面積から雨水を導水するかを評価する必要がある。

一般に溶液の EC の値の変化は、濃度が薄い場合、溶液中の溶質の量、つまり溶液濃度に比例することが知られている。例えば、25℃におけるKCl標準溶液の場合、濃度0.0001Mで15 μS/cm、0.0005Mで74 μS/cm、0.001Mで147 μS/cm、0.005Mで718 μS/cmとなることが知られており（日本分析化学会北海道支部，1994¹³⁾）、ほぼ線形関係が成立している（図-20）。そこで、溶液濃度で考えると次のようなことが言える。

容積 V (m^3) の池内の水に溶質が S だけ存在するとき、その濃度 C_0 は (1) 式で表される。

$$C_0 = \frac{S}{V} \dots\dots\dots (1)$$

ここに集水面積 A (m^2) に降った R (m) の純水と仮定した雨水が流入するとき、その濃度は (2) 式のように C_1 に変化する。

$$C_1 = \frac{S}{V+RA} \dots\dots\dots (2)$$

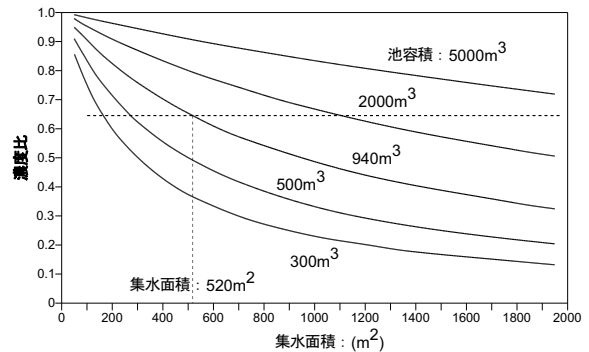
両者の比は (3) 式のようになり、これを整理すると、池の容積と、集水面積を変数とする池の濃度比の変化を表す式を得ることができる。

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{\frac{S}{V+RA}}{\frac{S}{V}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{\frac{S}{V+RA}}{\frac{S}{V}} = \frac{V}{V+RA} = \frac{1}{1+R \cdot \frac{A}{V}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $R = 1$ としたときの濃度比の変化を第21図に示す。図中に示した点線は今回の計測で得られたほぼ安定した浄化効果が得られると考えられる集水面積520 m^2 、池の容積940 m^3 の場合である。

この図より、溶質の種類等が変更無ければ、濃度の変化とほぼ同様に EC 値の変化が生じるものと仮定すると、容積940 m^3 、集水面積520 m^2 の場合と同様な濃度比変化（または池の水の改善効果）は、集水面積250 m^2 では池容積約500 m^3 、池容積2,000 m^3 では集水面積1,100 m^2 の時に生じるものと期待され、この図を用いることによって対象とする池の大きさ（容量）に対してどの程度の集水面積が必要とされるのか推定しうるものと考えられる。



第21図 雨水導入による効果の推定

V 摘 要

本高度化事業においては、毎分3～5 L程度の小流量で可能な小型灌水器具（パルセーター）を用いた間欠式自動灌水装置による超節水型灌水技術の導入・実証を大きな目的としている。このとき、水源の乏しい中山間傾斜地において新たに散水施設を設けるためには、その水源確保が非常に重要な問題となる。ここでは、その対策の一事例として、香川県高瀬町の実証圃場において、近傍にある放棄され水質の悪化した未利用ため池を水源としての再利用を図るために行った試験結果について述べてきた。

この結果、水質改善対策については次のようなことが言える。

- ① ハウスからの雨水を未利用で水質悪化したため池に導入することによって、ため池の EC 値を減少させ水質を改善することができる。
- ② ハウスから雨水導水時の池の EC 値変化は、降雨による減少と池自体の自然増の二つのメカニズムで表すことができる。
- ③ 容積940m³のため池を対象に調査を行ったが、この場合集水面積が520m²程度あれば少雨年であっても安定して EC 値を減少させることが可能となる。
- ④ ため池で希釈などが生じたとき EC 等は元の状態に戻ろうとする作用が働くが、対象としたため池と同程度の回復特性を示す池にあっては、500m³程度の池に対しては250m²程度の雨水導入のための集水面積、2,000m³の池にあっては1,100m²程度の集水面積があれば、今回と同程度の改善効果が期待しうるものと推定された。

今回の試験においては、池への地域内での流水の経路が複雑であり EC 値増加のメカニズムについては検討することができなかった。また、池の表面に降る雨の影響は本報告ではほとんど見られなかったが、詳細に調べると、同じ容積の池でも広くて浅い池と狭くて深い池ではその影響の現れ方は異なってくると考えられる。このため、雨水導入による池の水の改善技術については必ずしも十分に一般化できたとは言えず、適用は対象とした池と同等の環境に存在する池と限らざるを得ない。ある環境下にある池が高い濃度で安定している場合、急に濃度が減少すると元に戻ろうとする作用が働く。これを、浸透水、流入水など個別に量的に把握することは非常に難しいものの、ある環境下での種々の現象の総和として個別の池の EC 値上昇速度を推定することは比較的容易であり、中山間傾斜地において放棄されて水質が悪化したため池を水源として活用するための一つの手法は示し得たものとする。ある環境下で浸透水、流入水などによって形成されるため池の水質特性の形成メカニズムの解明や池の広さの影響については今後の検討課題としたい。

最後に、本試験を遂行するに当たって、現場の測

量、施設の施工・設置、水質データの計測等について四国研究センター業務第2科の岡田達典氏、上枝博樹氏、喜多壽夫氏、森江昌彦氏、加賀宇昌宏氏ならびに秋山正樹氏、およびデータのとりまとめ等についてパート職員の保科友恵氏の各位にはご苦勞をおかけするとともに多大な尽力をいただいた。また、課題の遂行に伴う物品の購入、会計処理など関係者各位には多大なご支援をいただいた。ここに記して謝するものである。

引用文献

- 1) 福元康文・西村安代・島崎一彦 2003. セラミック資材による水質浄化に関する研究. 植物工場学会誌15(3):135-139.
- 2) 福島忠雄・岩田雄三 1989. 生活雑排水が混入する溜池の植生(ハス)による水質改善効果について. 農土論集142:99-105.
- 3) 端 憲二・橘木利満 1993. 循環式接触酸化水路による水質浄化に関する基礎的研究. 農工研技報188:41-48.
- 4) 端 憲二・石川雅也・鈴木光剛 1996. 湿地における窒素除去機能-湿地模型を用いた浄化試験. 農土誌64(4):339-344.
- 5) 井上久義・渡邊修一・吉川省子・岸根秀明・仲田一雄・横田和志・中尾誠司・村口 浩・吉川弘恭 2006. 日本における超低流速灌水システム発展の可能性-IV. 水資源の少ない茶園でのパルセーター型スプリンクラーによる灌水-. 農業および園芸81(2):324-330.
- 6) 石井 猛・仁城宏之・則直秀樹・前田博信・山科陽子 2001. 世界に分布するホテイアオイとその水質浄化並びに資源としての有効利用の研究(1). 水利科学259:17-33.
- 7) 伊藤 信 1985. 水田の水浄化能に関する研究. 特に水田表面における溶存窒素とリンの濃度的量的変化について. 農業研究センター研究報告5:119-145.
- 8) 金木亮一 1991. 反復利用水の水質と水田による水質浄化効果. 農土誌59(11):1275-1280.
- 9) 三沢真一 1987. 水田における水質変化機構について. 農土論集127:69-78.

- 10) 村口 浩・松本由利子・阿部政人・横田和志・吉川省子・渡邊修一・井上久義・中尾誠司・吉川弘恭 2006. 日本における超低流速灌水システム発展の可能性－Ⅲ.超低流速灌水システムを利用したマーガレット栽培－. 農業および園芸 81 (1) : 81-84.
- 11) 村岡浩爾・福島武彦 1981. 陸水域の富栄養化に関する総合研究. 霞ヶ浦(西湖)の湖流. 国立公害研究所報告 19 : 1-149.
- 12) 中曽根英雄・黒田久雄・山本伸行・尾崎益雄 1996. 接触曝気方式における窒素除去の促進に関する研究. 農土論集183 : 153-160.
- 13) 日本分析化学会北海道支部 1994. 水の分析第4版. 4.4 電気伝導度. 化学同人. 京都. 144-147.
- 14) 小川吉雄 1998. 地形連鎖を活用した地域の水質浄化. 農業および園芸 73 (1) : 225-229.
- 15) 岡本将宏・小林正幸・西川吉和・長谷川清善・大橋恭一 1982. 農業排水中におけるホテイアオイの生育と水質浄化について. 滋賀県農業試験場研究報告24 : 51-64.
- 16) 岡本芳郎・小林浩幸 1997. 溜池の水質浄化に対する浚渫の有効性の実証実験. 農土論集 187 : 161-169.
- 17) 千家正照・西出 勤・板垣 博 1993. 休耕田を利用した水路型の簡易水質浄化施設. 農土誌 61 (12) : 1129-1134.
- 18) 嶋田典司・矢島 聡・渡邊幸雄 1988. オオサンショウモによる水質浄化に関する研究(1). オオサンショウモによるN, P吸収の基礎的実験. 千葉大学園芸学部学術報告41 : 15-21.
- 19) 田淵俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄 1993. 休耕田を活用した窒素除去の試み. 農土誌61 (12) : 1123-1128.
- 20) 田淵俊雄・志村もと子・尾野充彦 1996. 休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討. 農土誌64 (4) : 345-350.
- 21) 渡邊幸雄・矢島 聡・嶋田典司 1988. オオサンショウモによる水質浄化に関する研究(2). オオサンショウモの栽培試験における窒素およびリンの吸収. 千葉大学園芸学部学術報告41 : 23-27.
- 22) 山岡 賢・端 憲二・藤野欣一 1994. 回分式活性汚泥法における鉄接触材浸漬によるリン除去性能. 農土論集171 : 21-28.
- 23) 山岡 賢・端 憲二・菊岡保人 1996. 回分式活性汚泥法における鉄液添加によるリン除去. 農土論集186 : 25-35.
- 24) 山岡 賢・凌 祥之 2004. 木炭による畑地灌漑用水の浄化. 農業および園芸79 (1) : 10-16.
- 25) 矢田貝光克・伊藤 蘭・大平辰朗 1995. 木炭の水質浄化効果. 木材学会誌41 (4) : 425-432.
- 26) 吉川弘恭・横田和志・松本由利子・吉川省子・渡邊修一・中尾誠司 2005. 太陽の光で作物に水を与える(1). ソーラーポンプを利用した低コスト日射制御型灌水装置の試作. 農業および園芸80 (4) : 440-445.
- 27) 吉川弘恭・横田和志・松本由利子・吉川省子・渡邊修一・中尾誠司 2005. 太陽の光で作物に水を与える(2). ソーラーポンプを利用した低コスト日射制御型灌水装置の試作. 農業および園芸80 (5) : 569-571.
- 28) 吉川弘恭・横田和志・村口 浩・井上久義・吉川省子・渡邊修一 2005. 日本における超低流速灌水システム発展の可能性. I. 超低流速灌水の進歩と現状－. 農業および園芸80 (11) : 1242-1248.
- 29) 吉川省子・取手伸夫・村口 浩・渡邊修一・松本由利子・井上久義・吉川(山西)弘恭 2005. 日本における超低流速灌水システム発展の可能性. II. 水分・溶質移動予測プログラムHYDRUS-2Dからみた超低流速灌水の利点. 農業および園芸80 (12) : 1327-1333.

Water quality improvement of an abandoned and polluted small reservoir

Hisayoshi INOUE, Haruo UCHIDA, Masatoshi HOSOKAWA

Key words : small reservoir, water quality improvement, EC, green house, rain water

Summary

Preparing water resources is a principal problem to introduce a new irrigation system in mountainous areas where have poor water sources. From 2003 to 2005, we promoted a project aiming to introduce water saving irrigation system by using small irrigator (pulsator) into the mountainous area, and this paper shows the results of a research conducted in the project.

The object of the research is to improve water quality of an abandoned and polluted small reservoir (940m³ in volume located at Takase in Kagawa Japan) to utilize as a water resource of the water saving irrigation system through dilution of the ponding water by pouring rain water fallen on greenhouses into the small reservoir was experimented as a new method. As a result, the following is clarified.

1 Pouring rain water from greenhouses into the reservoir was followed by decrease of values of EC (from 250 to around 100 μ S/cm), pH (from 9.5 to around 7.0), turbidity (from 100-200 to 20-30 degree) and concentrations of ions such as Cl⁻, NO₃-N, SO₄²⁻, Na⁺, Ca²⁺, and this method can improve effectively water quality of polluted small reservoir.

2 Change in EC value while pouring rain water can described well through two processes, one is decrease due to poured rain water which is in proportion to amount of rainfall, and the other is countervailing increase which is in proportion to days of no rain.

3 In case of the reservoir of 940m³, it was presumed that greenhouse roof area of more than 520m² was required for stable effect of the water quality improvement, through the simulation using two processes above.

4 Also, it was conjectured through the simulation that more than 250m² roof areas to a reservoir of 500m³ and more than 1100m² roof areas to a reservoir of 2000m³ was required respectively to acquire the similar effect of the case the 940m³ reservoir.

In this research, the mechanism of the countervailing increase of EC could not be clarified, and change in EC value also could not be generalized because of complicated phenomena. So, the results of the research can apply just to the reservoirs which show similar properties of countervailing increase of EC. However, the effects of a new improvement method of water quality can be showed. Hereafter, change in water quality in the reservoir should be clarified more in detail to generalize this method.