茶園流域における農業用ため池の水質特性

山 本 富 久* 中曾根 英 雄**
 黒 田 久 雄** 加 藤 亮**

Characteristics of Water Quality of Irrigation Reservoirs in Tea Field Catchment

Tomihisa YAMAMOTO*, Hideo NAKASONE**,
 Hisao KURODA** and Tasuku KATO**

* Department of Environment System, Tenryuu Forest High School, Futamata 601, Futamata, Hamamatu 431-3314, Japan

** Department of Regional and Environmental Engineering, School of Agriculture, Ibaraki University, Ami-Chuoh 3-21-1, Inasiki 300-0393, Japan

Abstract

We surveyed the water quality of irrigation reservoirs in a tea field catchment. The study area was located in Shizuoka Prefecture, Japan. Water in some of the reservoirs showed alkalinity because of the photosynthesis of aquatic plants. On the other hand, water in one irrigation reservoir showed acidity because of nitrogen fertilizer. The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration increased how many times owing to large runoff from a watershed when rainfall was strong and heavy accumulation. The Changes in $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration were small throughout the season when was light rainfall. The average of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in the irrigation reservoirs was about $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Key words: tea field, irrigation reservoir, pH, nitrogen fertilizer, nitrogen concentration

1. はじめに

我が国における農業用ため池（以下、ため池という）の歴史は古く、弥生時代に大陸から稲作文化の伝来とともに、その築造が始められたとされる¹⁾。その総数は全国でおよそ25万箇所及び、受益面積1ha以上の規模のものが10万箇所達する²⁾。

昨今、ため池は農業用水の確保のほか、親水空間としての景観の創出、また、ため池のもつ多面的な機能のうち、洪水緩衝機能、文化財的価値、さらに水質浄化機能などの期待が大きい。一方、ため池の周辺農地や都市化による宅地からの流入水によって富栄養化が進んでいるものも少なくない。

このような現状の中で、これまでため池における水質研究は皆無に近かったが^{3,4)}、近年、研究対象として重視されてきた⁵⁻¹³⁾。高排出負荷地域の茶園流域でのため池の水質研究は、先駆的研究として松尾¹⁴⁾らによる九州地域を事例としたため池での青変現象、井伊^{15,16)}らやII¹⁷⁾らによる重金属の溶出の報告がある。茶の栽培が最も盛んな静岡県下のものは、唯一、牧之原台地流域におけるため池での事例がある¹⁸⁻²⁰⁾。このため池は集団茶園地帯を集水域とした丹野池で、池水の窒素濃度は非常に高く、

さらにpHが低い酸性化したため池で、ここでの水生生物の生息が確認できないことが報告された¹⁸⁾。

本調査では、静岡県内でも特に茶の栽培が盛んな地域でのため池を対象とし、水質特性について検討した。

2. 調査地域の概要と調査方法

2.1 調査ため池

調査地域の掛川市は、古くから大河川からの取水が困難な地域であったため、県内のため池総数760箇所のうち、274箇所が集中する県下で最密度地域である²¹⁾。調査ため池は、茶園、山林、原野を集水域とし、生活排水が流入しないため池6箇所である。調査ため池の位置をFig.1に、集水域の現況をFig.2に、ため池の諸元をTable 1に、土地利用をTable 2に示す。これらのため池は山林や丘陵地の谷を堰き止めて築造したもので、堤長は40～120mで、堤高が4～12mである²²⁾。明治5年(1872)頃から、ため池周辺地域を開墾し²³⁾、現在、茶園として利用している。

2.2 調査地域の地形・地質、土壌

ため池が築造されている地域は起伏に富んだ丘陵地帯で、下流域には水田地帯が広がる。集水域の基盤は、第三紀層の泥岩、粘板岩で、その上層を第四紀洪積層の段

* 静岡県立天竜林業高等学校環境システム科 〒431-3314 浜松市二俣町二俣 601

** 茨城大学農学部地域環境科学科 〒300-0393 稲敷郡阿見町中央 3-21-1

Fig.1 Study area

丘堆積物が覆っている。表層土壌は湿潤気候下に生成した赤黄色土で、強酸性を示し、腐植の含有率が低く、置換性塩基が乏しい²⁴⁾。

2.3 調査方法

調査期間は2001年4月から2003年1月である。降水量は、掛川地域気象観測所で観測したデータを用いた²⁵⁾。茶園施肥などの栽培環境に関する調査は、指導機関の掛川市農業協同組合によって作成された茶の施肥計画書のデータを用いた²⁶⁾。

水質調査は2001年4月19日、8月28日、12月18日、2002年4月16日、8月26日、2003年1月14日に実施した。pH、ECは各ため池の取水施設付近で現地測定を行い、試水は保冷しながら試験室に輸送し、ろ紙(5C)でろ過後、メンブランフィルタ(0.45 μm)で再ろ過し、NO₃-Nはイオンクロマトグラフ法により測定した。

3. 調査結果および考察

3.1 水文気象

気温の平年値(1976~2005)は約16℃で、年間降水量は1,889mm・y⁻¹である。2001年から2002年の年降水量は、各1,670mm・y⁻¹、1,463mm・y⁻¹であった。2001年2月から2003年1月までの日降水量をFig.3に示す。100mm・d⁻¹を超えた日降水量は、2001年8月21日(119mm・d⁻¹)、8月22日(127mm・d⁻¹)、9月10日(172mm・d⁻¹)、2002年7月10日(135mm・d⁻¹)に生じた。1時間降雨強度が30mm・h⁻¹を超えた強雨は、2001年8月22日(41mm・h⁻¹)、11月5日(37mm・h⁻¹)、2002年7月13日(41mm・h⁻¹)に生じた。

3.2 茶の栽培環境

掛川市の茶園面積は2,437haで、全国の5.0%を占め、県下3位である²⁷⁾。2001年から2002年における平均施肥窒素量と施肥時期をFig.3示す。窒素施肥は2月から8月までに6月を除く各月に行われていた。2月の春肥は103.2 kg・ha⁻¹で、4月は芽出し肥と一番茶直前にほぼ1/2ずつ分施されていた。このため、月間施肥窒素量は、この4月が202.0 kg・ha⁻¹と最も多く、年間施肥窒素量525.2 kg・ha⁻¹のうち、38.4%を占めた。この525.2 kg・ha⁻¹は静岡県の施肥基準である540 kg・ha⁻¹と比べ²⁸⁾、5%程度少なかった。緩効性窒素肥料は春秋肥併せて70 kg・ha⁻¹程度²⁶⁾、堆肥、山野草は秋冬期に各25 t・ha⁻¹、10 t・ha⁻¹程度に施された²⁸⁾。茶葉の収穫は年間3~4回摘採が行われた。

3.3 調査ため池の水質

各調査ため池におけるpH、EC、NO₃-Nの変動をFig.4~Fig.6に示す。また、これらの水質項目の平均濃度、相関係数をTable 3、Table 4に示す。

3.3.1 pHの変動

Fig.2 Topographical map of catchment area

Table 1 Outline of the study irrigation reservoir

Reser- voir	Storage Capacity (m ³)	Surface area (m ²)	Average water depth(m)	Irrigation area (ha)
A-Ike*	55,000	21,100	2.6	7.0
B-Ike**	12,000	4,800	2.5	3.8
C-Ike*	6,068	1,800	3.4	1.8
D-Ike**	12,800	6,500	2.0	15.0
E-Ike*	52,400	12,500	4.2	5.0
F-Ike**	12,900	5,300	2.4	0.8

Building age *:Meiji era, **:Before Edo era

Table 2 Land use of Catchment area

Reser- voir	Catchment area (ha)	Tea field ha(%)	Forest ha(%)	Wasteland* ha(%)
A-Ike	35.2	7.7(21.9)	17.8(50.6)	9.7(27.5)
B-Ike	4.5	2.8(62.2)	1.4(31.1)	0.3(6.7)
C-Ike	3.2	1.6(50.0)	1.4(43.8)	0.2(6.2)
D-Ike	3.8	1.8(47.4)	1.3(34.2)	0.7(18.4)
E-Ike	42.4	13.6(32.1)	28.6(67.4)	0.2(0.5)
F-Ike	16.6	10.2(61.4)	4.1(24.7)	2.3(13.9)

* wild grass

E 池の pH は低く推移し、平均 pH が 5.2 と酸性を示した。これまで茶園流域で酸性化したため池が報告された^{14,17)}。E 池も同様に茶園での長期にわたる窒素の過剰施肥の履歴によって酸性化したため池であると考えられる。E 池は水深が大きく、常時地下水が流入するため池である。このために水温は春季が 17.5℃、夏季が 27℃、冬季が 6.5℃と比較的低く、藻類、水生植物は非常に少ない。

一方、そのほかのため池の pH は平均 7.0~8.5 で、中でも A 池、B 池は pH8 を超え、水温は通年、E 池よりも高く、藻類、水生植物が繁茂した。このように、池水のアルカリ化は、池内の植物の光合成によって池水中の CO₂ が消費され、その結果、池水中の H⁺ イオンが減少するためであることはよく知られている^{29,30)}。

C 池は 2001 年 4 月が pH8.2 で、同年 8 月に pH4.8 まで低下し、その後、pH7 まで回復した。これはアルカリ化したため池が降雨流入によって pH が大幅に低下し、ため池が一時期、酸性化したためである。これに関し、福岡県での事例はあるが¹⁴⁾、県内ではみられない。このとき、4 月から 8 月の NO₃-N 濃度は平均の 7 倍程度に達した。これは、茶園肥料の窒素化合物が硝化により硝酸が生成され¹⁵⁾、強酸である硝酸がため池に多量に流入し、池水内での pH 緩衝能力を超えたためである。

2001 年 8 月に、B 池、D 池の pH は低下し、NO₃-N 濃度は大幅に上昇した。これは多量の降雨流入によって池水の NO₃-N 濃度が高くなった。

E 池の pH はわずかに低下し、NO₃-N 濃度は 2 倍程度になった。これは、既に酸性化したため池であるため、NO₃-N 濃度の上昇に伴う pH の変動は少なく、このときの pH 緩衝能力は低いと考えられる。

3.3.2 NO₃-N 濃度の変動

Fig.6 では 1.0~21.0 mg·l⁻¹ と大きな変動幅を示し、平均 NO₃-N 濃度は、4.9 mg·l⁻¹ であった。前述の丹野池の pH は 4.5~4.9 と低く、NO₃-N 濃度が 30 mg·l⁻¹ 前後と高濃度であった¹⁸⁻²⁰⁾。福岡県南部の茶園流域のため池 14 箇所を調査した結果、NO₃-N の平均濃度は 14.5 mg·l⁻¹ であった¹⁴⁾。九州地域の茶園直下のため池では、2 年間の平均で約 13 mg·l⁻¹ であった^{15,16)}。本調査結果は、丹野池の NO₃-N 濃度の 1/6 程度で、福岡県下や九州での事例の 1/3 程度であった。このように茶園地域でも、ため池によって池水の窒素濃度に大きな差があることが判明した。

一方、田辺⁴⁾らがため池密度が全国で最も高い香川県下のため池 50 箇所を調査した結果、NO₃-N の平均濃度は 0.5mg·l⁻¹ であった。中曽根⁷⁾らが茨城県下のため池 13 箇所を調査した結果、平均 0.5mg·l⁻¹ であった。本調査結果は、これらの 5~10 倍に達し、茶園における施肥窒素の影響が非常に大きいことを示した。

茶園施肥は秋肥で 8 月 11 日から月末にかけて、72.4 kg·ha⁻¹ が施された。降雨は 2001 年 8 月 21 日から 22 日に台風の影響により各 119mm·d⁻¹、127mm·d⁻¹、総雨量 246mm に達した。これは 2000 年 6 月 28 日 (147mm·h⁻¹) 以来の集中豪雨 (100mm·d⁻¹ 超) で、連続雨量として史上 5 位 (1976 年観測開始以降) であった。中でも 8 月 22 日の降雨強度は 41mm·h⁻¹ で、史上 10 位の強雨 (30mm·h⁻¹ 超) に見舞われた。これは 1999 年 10 月 27 日 (49mm·h⁻¹) 以来の強雨であった。水質調査は、降雨後 6 日の 2001 年 8 月 28 日に実施した。その結果、茶園と近接した地理的条件にある A 池、B 池、C 池、D 池の各ため池におけ

Fig.3 Changes of N fertilizer and precipitations

Fig.4 Results of the observed pH

Fig.5 Results of the observed EC

Fig.6 Results of the observed NO₃-N concentration

Reservoir	pH	EC (m·S ⁻¹)	NO ₃ -N (mg·l ⁻¹)
A-Ike	8.5	53.0	7.1
B-Ike	8.0	72.0	5.2
C-Ike	7.0	18.8	2.8
D-Ike	7.4	18.2	1.4
E-Ike	5.2	28.2	6.9
F-Ike	7.9	50.7	6.1

	pH	EC	NO ₃ -N
pH	1		
EC	0.430 **	1	
NO ₃ -N	-0.198	0.331 *	1

*n=36 **Significant level <1% *Significant level <5%

る NO₃-N 濃度は、平均の 2~4 倍に達するピークを示した。以上のことから、茶園における秋肥を含む過去の施肥窒素が、2001 年 8 月 21 日、22 日に生じた集中豪雨

Fig.7 Relation between $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations and pH, EC

によって流出し、ため池に直接流入し、貯留されたと考えられる。

一方、F池の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は1/2程度に低下し、pHは大幅に上昇した。これは、池水温が 29°C と高く、藻類の光合成によって多量の $\text{NO}_3\text{-N}$ が摂取され、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低下したと考えられ、既往でも報告されている¹⁹⁾。

E池は2001年8月に $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が2倍近くに上昇した。E池とつながる山林、茶園が非常に急峻であり、地形的に茶園が急峻なほど窒素の溶脱量が多いと予想される。一方、山林の面積率が高いために希釈を受けるが、土壌のCECが小さく^{18,31)}、さらに茶園からの表面流出水は、急峻なために十分な物理・化学・生物学的な反応時間を経ずに、ため池に流入したと考えられる。

水質調査と施肥が同一の月は4月、8月で、窒素量として各 $202.0\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、 $72.4\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ であった。2001年8月以外で、各調査月日の1ヶ月前までの先行日降雨量は、最大で $15\sim 62\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ で、史上2~3位の少雨であった。このとき、各ため池水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変動は小さかった。これは茶園流域からの流出水量が少なく、施肥の影響が少ないためと考えられる。

$\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度はD池とC池が $1\sim 3\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であり、そのほかのため池は $5\sim 7\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。このことから、各ため池の茶園の面積率と $\text{NO}_3\text{-N}$ の平均濃度の相関関係($r = 0.37$, $n = 6$, 有意水準 $p > 5\%$)はみられない。これは、ため池の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度はその集水域における土地利用割合の要素のみでは決められないと示している。

これまでの研究では、池水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は集中豪雨によって上昇するとされる^{14,16)}。本結果でも多量の降雨の流入によって $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は大幅に上昇するものがあった。これは茶園が地形的に急峻なため、一挙に窒素が流入し、上昇したと考えられる。

以上のことから、茶園流域のため池は、降雨流出時に茶園からの窒素負荷を貯留し、連鎖する水田への窒素負荷軽減に大役を果たしていると考えられる。

3.3.3 水質項目間の関係

池水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とpH, ECとの関係をFig.7に示す。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とpH, ECの相関は低い。pHはpH4.5付近とpH7前後とに二分され、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とECは大きく分散した。Table 4において、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とpHは弱い逆相関を、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とECはやや相関を示した。このことから池水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高いほどECは大きく、pHは低くなる傾向を示した。

4. ま と め

本研究では、静岡県内における茶園を集水域とした農

業用ため池での水質特性を検討した。その結果をまとめると次のようである。

- 1) ため池水はアルカリ化のものが多く、酸性化したものの、一時的に酸性化したものが存在した。
- 2) 池水の平均 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は県内の丹野池と比較すると1/6程度と低い濃度であった。
- 3) 集中豪雨によって池内に茶園周辺から施肥窒素が流入し、池水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は2~4倍程度の高濃度になるものがあった。
- 4) 降雨が少ない時期のため池水は、茶園からの窒素の流入が少ないため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変動幅が小さい。

謝辞 本研究は文部科学省科学研究費(基盤A14206027, 代表者 茨城大学農学部 中曽根英雄教授)の助成、またデータの一部は静岡県、市役所、地元農業協同組合から提供を受けた。ここに記して謝意を表す。

(原稿受付 2005年11月29日)

(原稿受理 2006年7月7日)

参 考 文 献

- 1) ため池の自然談話会編(1994)ため池の自然学入門, p.10, 合同出版。
- 2) 農林水産省(1982)老朽ため池整備便覧。
- 3) 田辺和司, 馬淵繁樹, 糸瀬貞義(1978)農耕地への施肥に伴うため池の水質変化, 香川県農業試験場研究報告, 30, 37-41。
- 4) 田辺和司, 片本裕, 糸瀬貞義(1986)ため池の水質の現状について, 香川県農業試験場研究報告, 38, 45-53。
- 5) 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, 農業土木学会論文集, 142, 99-105。
- 6) 糟谷真宏, 加藤保, 濱田玲子, 永田敬子, 木野勝敏, 豊田一郎(1989)多変量解析法を用いた尾張東部地域のため池の水質解析, 愛知県農業総合試験場研究報告, 21, 123-130。
- 7) 中曽根英雄, 黒田久雄, 渡辺政子, 田淵俊雄(1998)ため池の窒素・リン濃度と集水域の土地利用, 水環境学会誌, 21(2), 83-87。
- 8) 高橋順二, 白谷栄作, 吉永郁生(1999)我が国の農業用ため池特性と水質の関係について, 農業土木学会論文集, 199, 107-118。
- 9) 長坂貞郎, 堀野治彦, 渡辺紹裕, 丸山利輔(1998)農業用ため池の水質実態と主成分分析による評価, 農業土木学会論文集, 194, 125-131。
- 10) 東野誠, 神田徹, 道奥康治(1999)富栄養化した貯水池における水質の時系列構造と水質変換, 水環境学会誌, 22(8), 668-676。
- 11) 長坂貞郎, 野口寧子, 堀野治彦, 三野徹(2001)農業用ため池の水質変化と物質収支, 農業土木学会論文集, 211, 51-57。
- 12) 長坂貞郎, 堀野治彦, 野口寧子, 三野徹(2001)農業用ため池の物質収支とそれを含む流域の流出負荷特性, 農業土木学会論文集, 214, 35-42。
- 13) 高村典子編(2004)ため池の評価と保全の取り組み, 国立環境研究所研究報告, 183, 1-138。
- 14) 松尾宏, 笹尾敦子, 重江伸也, 永淵修, 桜木建治(1992)茶畑を集水域とする溜池の酸性現象について, 用水と廃水, 34(2), 18-23。
- 15) 井伊博行, 平田健正, 松尾宏, 田瀬則雄, 西川雅高(1997)茶畑施肥による硝酸性窒素と周辺表流水におよぼす影響, 水工学論文集, 41, 575-580。
- 16) Ii, H., Hirata, T., Matsuo, H., Nisikawa, M. and Tase, N. (1997) Surface water chemistry, particularly concentrations of NO_3^- and DO and $\delta^{15}\text{N}$ values, near a tea plantation in Kyushu, Japan, Journal of Hydrology, 202, 341-352。
- 17) 井伊博行, 平田健正, 松尾宏, 田瀬則雄, 西川雅高(1998)茶園周辺の池水中のpH変化と窒素, リン, 硫酸, アルミニウムの挙動について, 土木学会論文集, 594/VII-7, 57-63。
- 18) 中曽根英雄, 山下泉, 黒田久雄, 加藤亮(2000)茶園地帯の過剰窒素施肥がため池の水質に及ぼす影響, 水環境学会誌, 23(6), 374-377。
- 19) 井伊博行, 平田健正, 田中豊和, 西川雅高, 中島二夫, 梅原鏡一(2000)静岡県中部地域での茶園由来の湧水・池水・河川水の水質について, 水工学論文集, 44, 1155-1160。
- 20) 山野賢一, 井伊博行, 田中豊和, 西川雅高, 小川祐美(2001)茶畑由来の肥料と大井川用水の導水による菊川流域の硝酸性窒素汚染への影響について, 環境工学論文集, 38, 197-205。
- 21) 静岡県小笠社会科学研究会(1987)研究編「水と人のくらし」, p.21。
- 22) 掛川市(1968)掛川市誌 p.505, 掛川市誌編集委員会。
- 23) 掛川市(1997)掛川市史 上巻, pp.18-19, 掛川市史編集委員会。
- 24) 永塚鏡男(1997)原色日本土壌生態図鑑, p.50, フジテクノシステム。
- 25) 日本気象協会(2001-2003)静岡県気象月表。
- 26) JA 掛川(2001-2003)茶園施肥計画。
- 27) 関東農政局静岡統計・情報センター(2005)平成16年度茶生産量統計, p.17。
- 28) 静岡県(2003)静岡県土壌肥料ハンドブック, p.266, p.267, 静岡県肥料協会。
- 29) 西条八東, 三田村緒佐武(1999)新編湖沼調査法, p.71, 講談社。
- 30) 田淵俊雄編(1987)農業土木技術者のための水質入門, pp.21-22, 農業土木学会。
- 31) 有光一登(1983)農林水産省林野庁監修, 日本の森林土壌, pp.54-55, 日本林業技術協会。