

■緩速ろ過の本場はイギリスである。200年近いその歴史からはまだまだ学ぶものが多い。

# チームズ水道緩速ろ過池見聞記

中本 信忠

なかもと・のぶただ=信州大学繊維学部応用生物科学科教授／理博

## 1 はじめに

良質で安全な水道水を造ることができ  
る緩速ろ過処理は1804年に英國スコ  
ットランドが発祥である。日本も明治以  
来、英國の技術者から生物処理の緩速ろ  
過処理を勉強し、横浜を始め日本各地に  
緩速ろ過処理による浄水場を建設してき  
た。しかし、戦後になり、米国式といわ  
れる物理化学処理の急速ろ過処理が普及  
した。緩速に対しても急速という効率の良  
さそうで素晴らしい名前と新しい  
技術で、より高度で良い処理技術と連想  
される技術であったのでこのように普及  
したと思われる。日本では、現在でも緩  
速ろ過処理は旧式で効率が悪く良くない

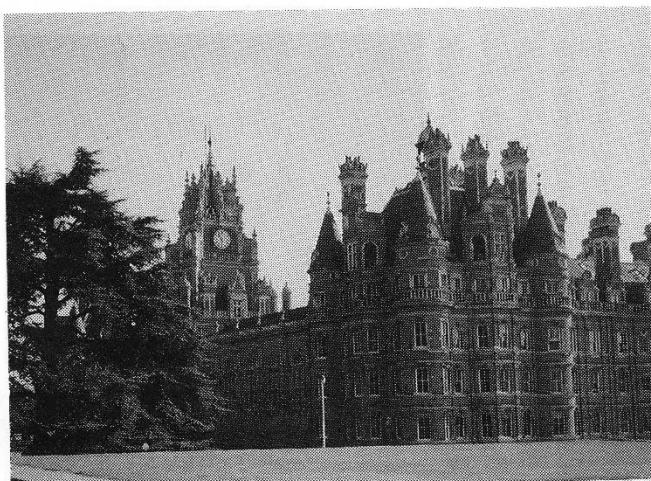
## 2 一度目で実現した予備調査

1989年9月末に英國に行く機会があ  
つたので、ロンドンの浄水場を見学し  
ようと思い、ロイヤル・ハロウイーカレ  
ッジ (Royal Holloway College,



University of London' (写真1) のア  
ニー・ダンカン (Annie Duncan) 教授

(写真2) に手紙を書き、チームズ水道に  
見学許可をもらえないかと頼んだ。しか  
しこの時は手続き時間の関係で無理で  
あるとの返事であった。外から浄水場や  
ロンドンの貯水池を眺めるだけであきら  
めることも出来ない。そこで、ロンドンの  
浄水場を調べるために、ロンドンの貯水池  
を自分で見てみることにした。



←写真2 ロイヤル・ハロウイー・  
カレッジのアニー・ダン  
カン教授=動物プラン  
クトンや魚の研究を緩  
速ろ過池やネス湖で行  
っている。有名な動物  
生態学者

←写真1 城のようなロイヤル・ハ  
ロウイー・カレッジ=レ  
イズバリー貯水池近く  
にある

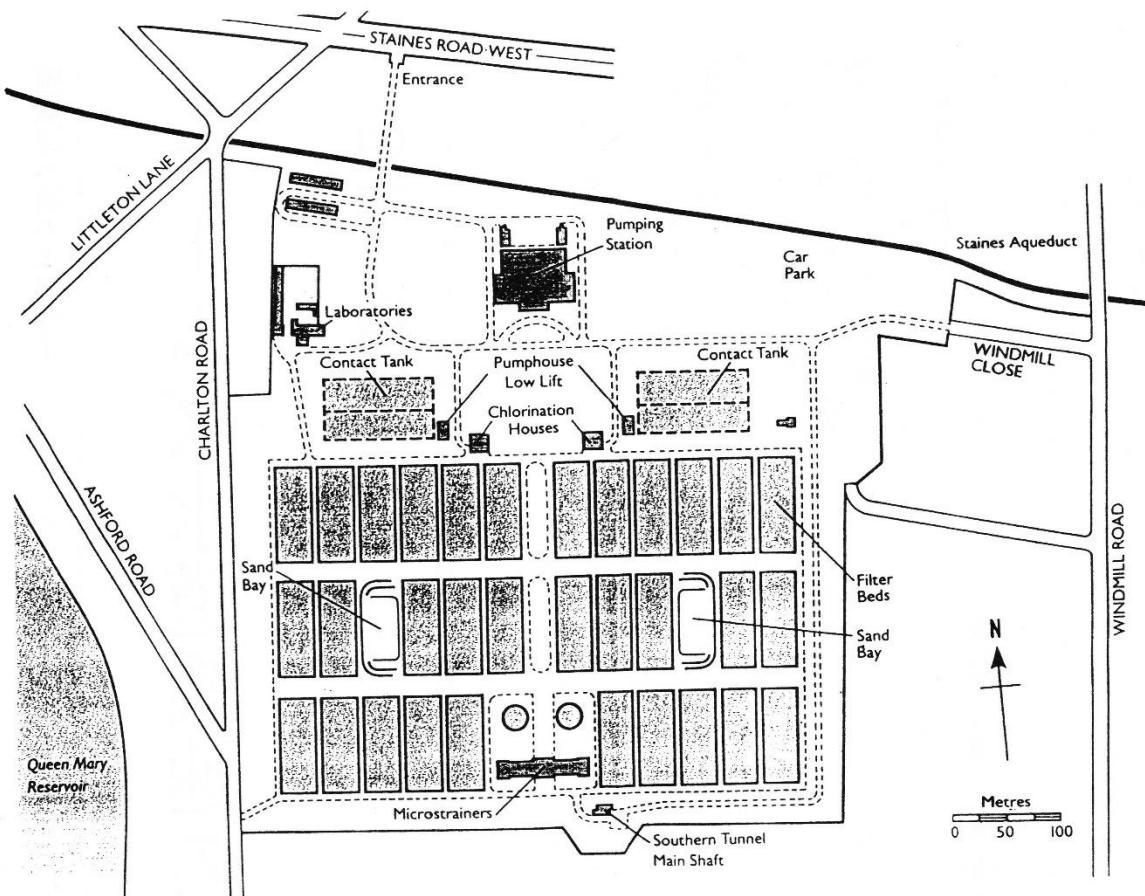


図1 アッシュフォード・コモン浄水場の平面図 (100mx30mのろ過池が32池ある)

めた。

1992年8月にスペインのバルセロナで国際陸水学会に参加する機会があり、直接にチームズ水道の研究者に連絡を取り浄水場を見学したいと連絡をとった。この時はチームズ水道で一番新しいアッシュフォード・コモン浄水場(Ashford Common, 1958年7月完成、図1)を見学させてもらい、砂層表面の削り取り機械および操作も見学できた。この浄水場は100m×30mの緩速ろ過池が32池もあり、日給水量は42.8万トンと大きなものである。また、近くのケンプトン浄水場でチームズ水道の研究者に私の話を聞いてもらえた。この時、トニー・ラチャワル(Tony Rachawar)主任研究員にお前は仕事のし過ぎだといわれ、次回くるときはもう少しゆっくり来いといわれた(中本1993)。

新着(1994年5月)の雑誌Water Researchにロンダンの緩速ろ過処理について論文が発表され、その著者グラハム(Nigel Graham, Imperial College, University of London, 写真3)は衛生工学の研究者で、緩速ろ過処理の国際シンポジウムをロンドンと米国で2度も企画した人であるので、もしかしたら

ロンドンの浄水場を調べる許可をもらえるかと思い、調べてみたいと別刷りなどを同封し手紙を書いた。グラハムからは直ちに共同研究をしようとかクスで返

事がきた。日本では、緩速ろ過処理に関する研究では研究助成金をもらうのは大変であることを知らせたら、英国で助成金を取る努力をするが、日本でも助成金をとる努力をしてくれとのことであった。

グラハムが助言してきた英國文化協会(British council)科学部に問い合わせをし、グラハムと何度もファックスで連絡し、共同研究のための打ち合わせに1週間ロンドンへ出かける計画をたてて申請した。幸いにも英國政府科学部から旅費を援助してもらえることになり、昨(1994)年10月15日から23日までロンドンでの予備調査が実現した。

### 3 ロンドン駆け足見聞

英國のバージン・アトランティック航空を利用しての旅であった。機内の隣席

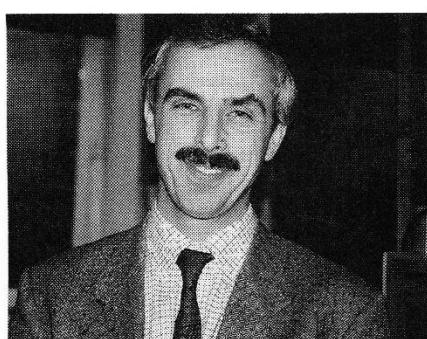


写真3 王立カレッジのニ格尔・グラハム教授=緩速ろ過処理やオゾン処理を研究している

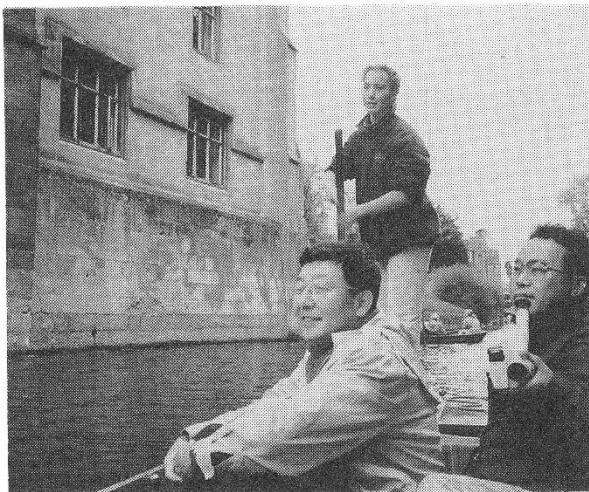


写真4 ケンブリッジを横切るケム川で女子学生にボートで案内してもらう中本(左)と山本

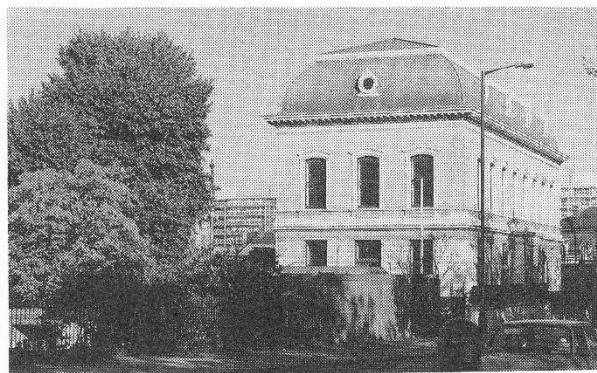


写真5 ロンドンで最初の緩速ろ過池があったチャルシー水道会社の跡。現在はチームズ水道のポンプ場

は英國大使館科学部コックス博士の息子さんであった。博士はグラハムと同じ王立カレッジ (Imperial College) 卒とのことであった。運がついているような気がした。日本と英國の9時間時差に適応するために土曜に出発した。今回のロンドン行きには、研究室の山本満寿夫助手が、是非、ロンドンの緩速ろ過池を見学し一緒に仕事をしたいとのことであったので同行してもらった。

16日(日曜)はゆっくりした。この日は、英國の親類ブルース夫妻が彼の母校ケンブリッジ大見学に連れていってくれた。ケンブリッジ市内と大学の構内を横切っているケム川でパンツという棹さし

ボートで女子学生に案内してもらった (写真4)。ここで英國のカレッジシステムについて教わった。27校くらいのカレッジが集まってケンブリッジ大学 (university) になるそうだ。大学には教授はいるが学生はいないことなどを知った。古い建物が多く、非常に長い伝統に感銘した。彼は14世紀の建物のルームで勉強し生活し、夏は快適であったが冬の寒さは厳しかったとのこと。ルームとはドミトリーではないかと質問したら、ルームはルームであり、個室である。ドミトリーは何人か共同であるので違うという答であった。ドミトリーでは真剣に勉強できないとのことだ。現在もこの伝

統を受け継いでいるとのことである。ロンドン大学もカレッジシステムを探用し、ロンドン大学 (university) には学生はいなく、ロンドン大学の中に多くのカレッジがあるとのことである。オックスフォード大学もカレッジシステムのことだ。しかし新設の小さな大学には学生がいる場合もあるとのこと。日本とシステムが異なっていることに驚いた。

17日(月曜)朝10時に約束の時間に都市工学3階のグラハム博士の研究室を訪ねた。日本での私の仕事とチームズ水道での研究の仕方について情報交換をした。私は緩速ろ過池における藻類の役割、有用性について力説した。また、1992年に見学したときろ過池の砂層表面に糸状綠藻クラドホラが大量に繁殖していたのはユスリカなどにより捕食されないからであろうと話をした。今後の共同研究で生物群集全体についても把握したいなどと話し合った。グラハムは工学的立場で、水処理について研究をし、現在は、オゾン処理にも力を注いでいた。カレッジの職員食堂で昼食をとり、実験室、学科図書室、大学図書館などを案内してもらった。自身は講義や会議が多く、また、学生の面倒をみなくてはならず忙しい毎日であった。

18日(火曜)は山本助手を王立カレッジへ案内し、隣の科学博物館を見学した。食事の後は、ロンドンで一番最初に稼働し続けているポンプに感動した。

緩速ろ過処理の浄水場があったところを

訪ねた。1829年にチャルシー水道会社がチームズ川の水を浄化してウェストミンスター教会地区に給水するため清澄な水を造ることができる緩速ろ過処理を採用した場所である。グラハム博士に問い合わせたが行ったことがないが、チ

エルシー橋の近くに古い大きな建物があり、チームズ水道のマークがあった。イタリア風のボートランド岩(黄色の石灰岩)の古い建物である。門衛に見学したいと頼んだが、まず許可がないといけないとのことであった。そこで近くの公衆電話で事務所に連絡をし、事情を説明し、見学の許可をもらった。

この場所は1872年から1876年にかけて、下水処理用の集水渠からポンプで汲み上げる場所として建設されたと印刷物に書かれていた。現在のスタッフはこの場所がロンドンで最初の緩速ろ過池の跡地であることを知らなかった。でもチエルシー橋の近くにチームズ水道関係の施設がないので、この場所が跡地であると確信した。建物は1872年の建設した当時のままであり、ポンプは1937年に変更したままで現在も動いていた。120年前の建物内で60年間も現役で稼働し続けているポンプに感動した。

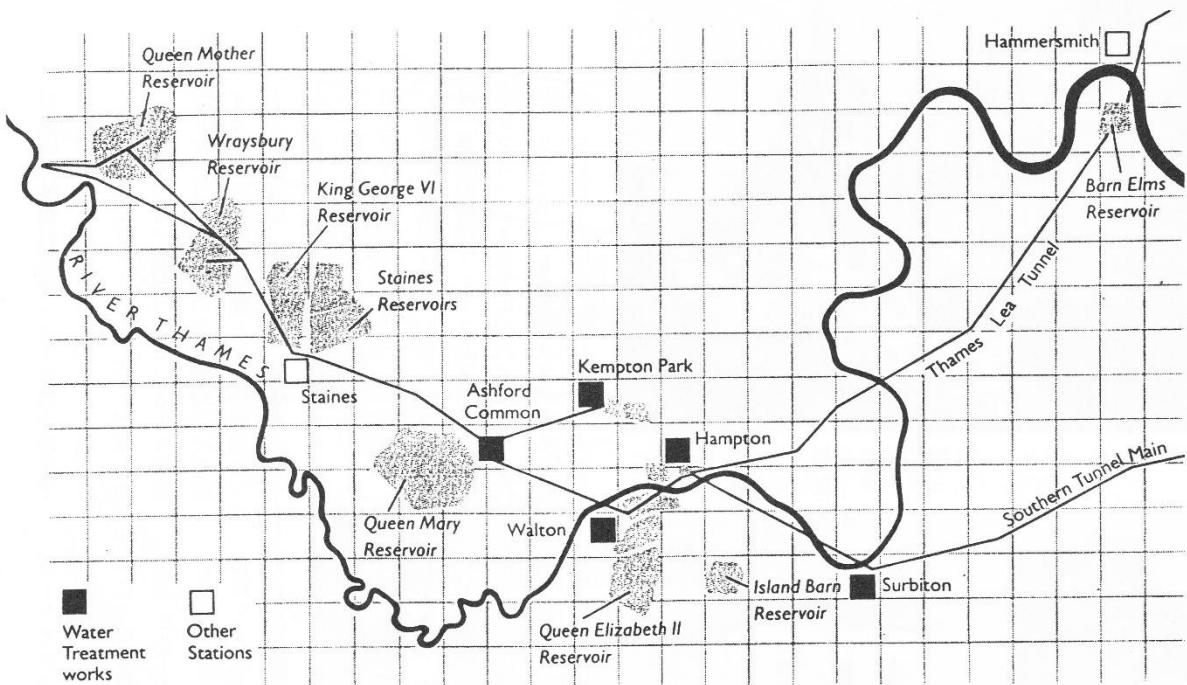


図2 テームズ川と貯水池と浄水場の関係



写真6 テームズ水道の貯水池および浄水場操作レイズバリー研究室

建設しては壊し、新たに建設しては壊しの日本、次から次へと新しい機械を導入し更新する日本の現状と余りにも違います。歴史と伝統の重みを肌で感じた。

19日（水曜）はテームズ水道のレイズバリー研究室を訪問した（写真6）。テームズ水道ではテームズ川の水を一端貯水池（図2）に貯水してから緩速ろ過処理をしている。この研究室は貯水池と緩速ろ過池の操作に関する研究室である。グラハム博士はこの施設に来るのは初めてのこと、私は1992年にも訪問したのでなつかしかった。

生物屋のフィル・レントン氏と仕事の打ち合わせをした。糸状珪藻の連続培養系の重要性について話をした。日本で貯水池の放流水を原水とする場合に栄養不足でろ過池で藻類が繁殖できなので（中本、1995a）、藻類繁殖の制限要因のリン酸塩添加し、糸状藻類を繁殖させ、ろ過閉塞を防止する効果についても話をした。しかしテームズ川や貯水池を経由したる過池流入原水中の栄養塩濃度は、リン酸態リンで $0.6 \sim 0.8 \text{ mg P/l}$ もあり、窒素は約 $7 \text{ mg N/l}$ もあることを知らされた。あまりにも栄養塩濃度が高いのに驚いた。日本での富栄養の認識と英國での認識の大きな差に驚かされた。

テームズの緩速ろ過池でも上田市のろ過池と同じく糸状珪藻メロンラが繁殖す



写真7 淨水場で藻類の捕食者ユスリカの羽化数調査をしている学生



写真8 タワー橋からテームズ川とロンドン市を眺める

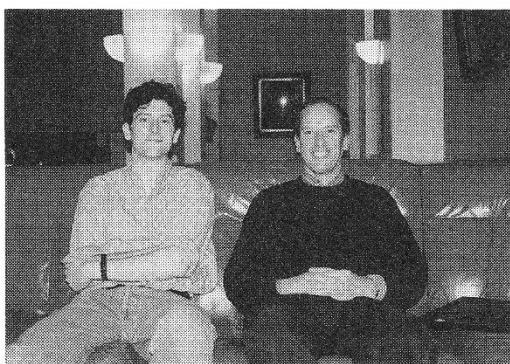


写真9 ろ過池でのユスリカの生態を研究しているユニバーシティカレッジのロジャー・ウットン教授と大学院生

ることを知られた。3月は上田市のろ過池と同じようにメロシラが水面に浮いてくるとのことだ。しかし、夏は糸状緑藻クラドホラの繁殖が著しいとのことであった。私は水温が高い期間に動物の活性が高まり、動物の摂食の影響が大きくなることを指摘した。

その後、前もって約束していたロイヤル・ハロウイーカレッジのダンカン教授と一緒に近くのパブで昼食をした。ダンカン教授は以前はテームズの貯水池や緩速ろ過池での動物群集の研究を主にしていたが、この数年は魚探を駆使しネス湖でのネッシーの研究にも没頭しているようであった。ダンカン教授は私のブラジルでの友人オデテ・ローチャの先生でもあり、以前から何となくオデテからダンカン教授の話を聞き知っていたので親し

みを覚えていた。

ダンカン教授と緩速ろ過池での生物群集の役割の話をし、システムエコロジーの必要性について討論した。また、1992年にユスリカの研究をしていた女子学生（写真7）がいたことを質問したらロンドン大学の隣のカレッジのロージャー・ウットン（Roger Wootton）教授の学生とのことであった。

20日（木曜）はロンドンタワーおよびタワー・ブリッジを見学し、感潮域で干満のあるテームズ川を実感した（写真8）。大英博物館の北にロンドン大学があり、その北にカレッジ（University College, University of London）がある。ウットン教授の居室は進化論で有名なダーウィンの名前をつけた建物の4階であった。緩速ろ過池などの水域での動物の役割に関する研究をし、大学院学生と一緒に情報交換をした（写真9）。ユスリカ幼虫がどんな餌を好んで摂食するかについて研究をし、緩速ろ過池のユスリカ幼虫は珪藻を好んで食べるとのことだ。「学屋は生物の重要性や役割を実感していないと嘆いていた。日本でも、長期間使用した緩速ろ過池では糸状珪藻の藻類被膜がユスリカ幼虫に捕食されてしまう」となどを紹

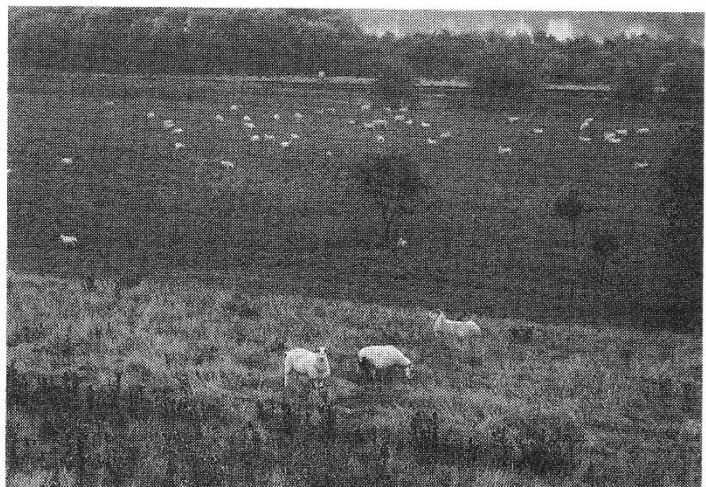


写真10 貯水池の土手と敷地の草刈に活躍している放牧中の羊

介し、植物や動物の役割の重要性について討論し、生物屋の役割について意気投合した。

21日（金曜）はやっとアシュフォード・コモン浄水場の予備調査ができた。レイズベリー研究室に行き、テリー技師の案内で、まず、レイズベリー貯水池を視察した。土手の内側はコンクリート張りであるが、外側は土手であり、この土手にはサフォーク種の羊が放牧されていた（写真10）。土手草の管理に便利のこと

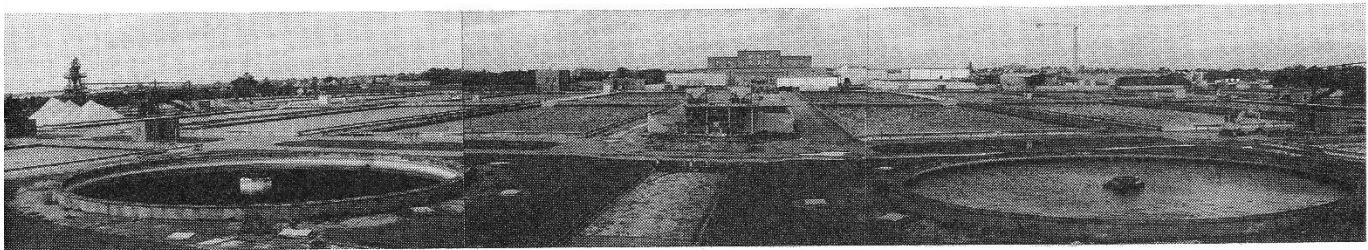


写真12 アシュフォード・コモン浄水場の緩速ろ過池、手前の丸い池はエアレーション用の池



写真11 テームズ川のクイーンマザー貯水池への取水地点、ロンドン市中心から約25キロ

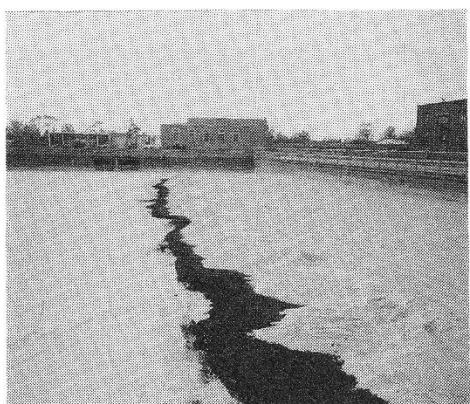


写真13 ろ過砂の中間にサンドイッチ状に粒状活性炭を挿入しているところ

である。その後1974年に完成したクイーン・マザー貯水池へ導水する取水口で採水した。この場所はロンドン市中心から約25キロ上流であるがチームズ川の川幅は100m弱で水深もかなりあり静かな流れであった（写真11）。川には堤防が目立たない。日本のように大雨や集中豪雨がなく、急激な増水がないので立派な堤防を造る必要がないようだ。クイーン・マザー貯水池はアシュフォード・コモン浄水場に隣接し、その水の滞留日数は約3カ月間である。

予備調査目的のアシュフォード・コモン浄水場（写真12）では緩速ろ過処理でも取り除けない農薬を処理するための高度処理施設を建設中で、また廃水処理施設も建設中で、正門でなく、西南端の仮設門から入った。門衛で所属氏名を記入し、訪問者バッジをもらつた。まず、ポンプ場の2階の管理室に行き、挨拶をしてから仕事を始めた。現在、約半分の緩速ろ過池では砂層の中層にサンドイッチ状に粒状活性炭を入れて生物処理の緩速ろ過処理でも除去できない農薬などを取り除く工夫をしていた（写真13）。

ろ過池の水と藻類被膜を筆者が考案した採取道具で定量採取した。テリーやグラハムが本当に全てのろ過池で採取するのかと心配していたが、名古屋市鍋屋上野浄水場では約1時間で14池全池の藻類被膜を採取するので、2～3時間で

できると伝えたが心配そうであった。ろ過池の水深は120cm程であったが水が透明で底が良く見えた。河川表流水を取水している上田市の浄水場では水深1mでも底の藻類被膜の状況は濁っているのでほとんど判らないのが普通であるのと大部異なっていた。ろ過池のろ過砂を取らぬで藻類被膜だけが容易に採取できることを見てテリーがスマートであると誉めてくれた。

ろ過速度は1日で約5mであり、ろ過池のろ過継続日数は90日以上であった。日本の浄水場と比べて、ろ過継続日数は非常に長かった。貯水池に一端貯水した水を取水するので、底層水を取水した場合に溶存酸素濃度が少ないことがあるのでエアレーションをする池がある。また貯水池で繁殖した藻類を除くためにマイクロストレーナーを通してから緩速ろ過させても、ろ過池では細かな植物プランクトンなどでろ過閉塞しやすそうであった。ろ過池を長く使用しようとする姿勢があるようだ。

このろ過池では、上田市のろ過池のように糸状珪藻の連続培養系にはなっていない。糸状緑藻クラドホラが使用約3週間で優占しだすようであった。しかし、私の採取道具では糸状珪藻などは容易に採取できるが細胞膜が固く、細胞の長さが非常に長い糸状緑藻クラドホラはほとんど採取できなかつた。このクラドホラ

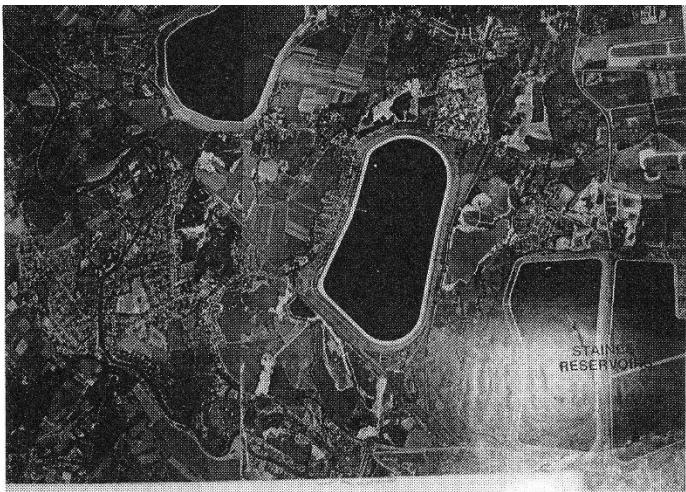


写真14 貯水池の古い航空写真（高速道路が建設される前の撮影）

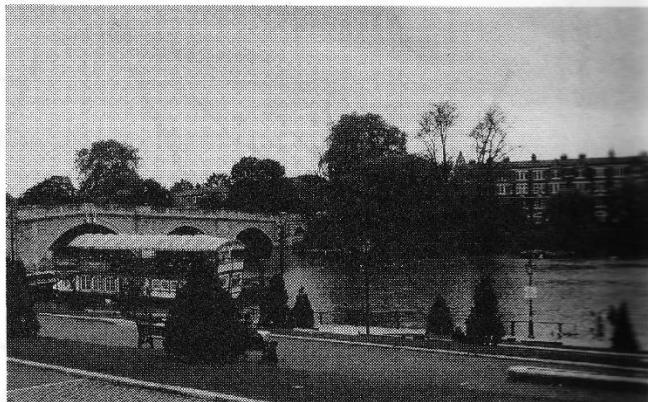


写真15 リッチモンドのテームズ川（ロンドン市中心から約15キロ）

ろ過池で藻類被膜を採取していると大きな白鳥がギンギシ、ユサユサと大きな音をたてて目の前に降りてきた。白鳥がこんなに大きな鳥とは知らなかつた。白鳥はクラドホラを食べていた。後に、松本市近郊の豊科町の白鳥飛来池で白鳥を見る機会があつたが日本で見る白鳥は小さく見えた。白鳥にも種類があり、日本で見られる白鳥は小さな種類であるよう気がした。

ろ過池の周囲には太さが大人の親指大で長さ5~7cm位の茶色の糞が転がっているのが目についた。臭いが気にならなかつたが踏みつけそうであった。小動物の糞であるが、何の糞であるか判らなかつた。どんな陸上動物が岸辺で何故こんなに糞をするのか想像できなかつた。後になり、もしかしたら、この糞は白鳥や鴨などの糞であるかもしないと思われた。いつか動物生態学者に問い合わせをして確認したい。ロンドンの緩速ろ過池生態系においては鳥の役割を無視できないのではと思われるほどであつた。

表1 テームズ水道会社のテームズ川およびリー川の貯水池の概要

貯水池名	完成年	面積(ha)	最大水深(m)	容量(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
------	-----	--------	---------	-------------------------------------

#### テームズ川（ロンドン市西部）

Queen Mother	1974	192	22.9	38.00
Wraysbury	1971	202	21.3	34.60
Queen Elizabeth II	1962	128	17.8	19.60
King George VI	1948	142	16.0	20.30
Queen Mary	1925	286	11.6	30.40
Island Barn	1911	49	9.2	3.70
Bessborough	1906	30	12.8	3.10
Knight	1906	21	12.8	2.10
Staines North	1902	72	11.9	7.20
Staines South	1902	100	9.0	7.90
Molesey*	1874/03	45	7.3	2.00

#### リー川（ロンドン市北部）

Willam Girling	1951	135	12.5	15.8
King George V**	1913	172	8.9	15.0
Banbury	1903	36.8	8.5	2.84
Lockwood	1903	29.9	10.3	2.17
High Maynard	1870	15.4	5.8	0.48
No.4	1866	12.1	5.8	0.38
No.5	1866	16.6	5.8	0.52
Wast Warwick	1897	17.4	5.8	0.55
West Warwick	1897	13.8	5.8	0.43
Low Maynard	1870	10.1	3.0	0.15
No.1	1863	7.7	3.0	0.10
No.2	1863	5.3	3.0	0.077
No.3	1863	4.9	3.0	0.048

\* (8 reservoirs), \*\* (North and South)

を定量的に採取する道具を工夫する必要があることがわかつた。

た。

藻類被膜の採取を無事終了し、レイズ

日本では河川を水源とする場合は、夏

期は糸状藻類の繁殖が著しいが、貯水池

を

パリー研究室に戻ってろ過処理をした。実験室の隣の部屋には、コーヒーや紅茶を自動的に提供する機械があり無料であつたが、実験室では飲み食いを一切してはいけないと注意された。また白衣を貸してくれたがろ過処理をするにも必ず着用するようにとのことであつた。機器室には顕微鏡写真や貯水池の航空写真（写真14）が掲示されていた。

仕事が終了し、ロンドン市への帰路、リッチモンドのテームズ川河畔のパブで遅い食事をとつた。テームズ川のゆったりとした流れ（写真15）を見ながらテームズ水道の研究者は何故糸状藻類の役割に注目しなかつたかなどについて話し合

日本では、富栄養化し、水質汚濁が著しい河川水を取水する浄水場から水質の良い原水を取水する浄水場、貯水池を水源とする浄水場、覆い緩速ろ過池で処理をする浄水場などがあり、いろいろ検証

できる」と話をした。もしかしたら、日本こそは緩速ろ過処理に関して世界に対して主導的立場になれるのではないかと思われた。

日本に帰国して試料の分析が終わった結果を知らせて次回にはお互いに討論

を深めようと約束し別れた。

#### 4 ロンドン浄水場の試料を分析して

まず栄養塩の濃さを実感した。

態リンの濃度は $1 \text{ mg P/l}$ 近くもあり、硝酸態窒素も $6 \text{ mg N/l}$ 以上もあった。日本ではこのような高い濃度の原水を取り水している浄水場はまazないと思われる。無機炭素濃度も約 $40 \text{ mg C/l}$ もあり、上田市の原水濃度の約 $5 \text{ mg C/l}$ と

比べその濃さに驚いた。電気伝導度も約 $800 \mu\text{S/cm}$ もあり、上田の約 $150 \mu\text{S/cm}$ と比べるとその高さにも驚いた。貯水池を通過しても、これらの栄養塩の濃度はほとんど変わりがなく、過栄養(hyper-trophic)という言葉を実感した。

この高い栄養塩濃度は石灰岩が風化して溶出してものであることを思いだした。石灰岩の起源は珊瑚礁であり、この珊瑚礁は、かつてこの英國の土地が古赤道地帯の浅い海域であり、隆起したものであることを思いだした。地球の歴史を感じた。

このようなどうしようもない過栄養の貯水池での植物プランクトンの繁殖抑制の試みについていろいろ工夫をしていた(図3)のを思いだした。1992年に訪問したときにはチームズ貯水池では取水している原水を底からジェット水流で導入するようにし、貯水池の水を強制的にかき混ぜた方が維持経費が一番安く、効果があると教わったことを思いだした。

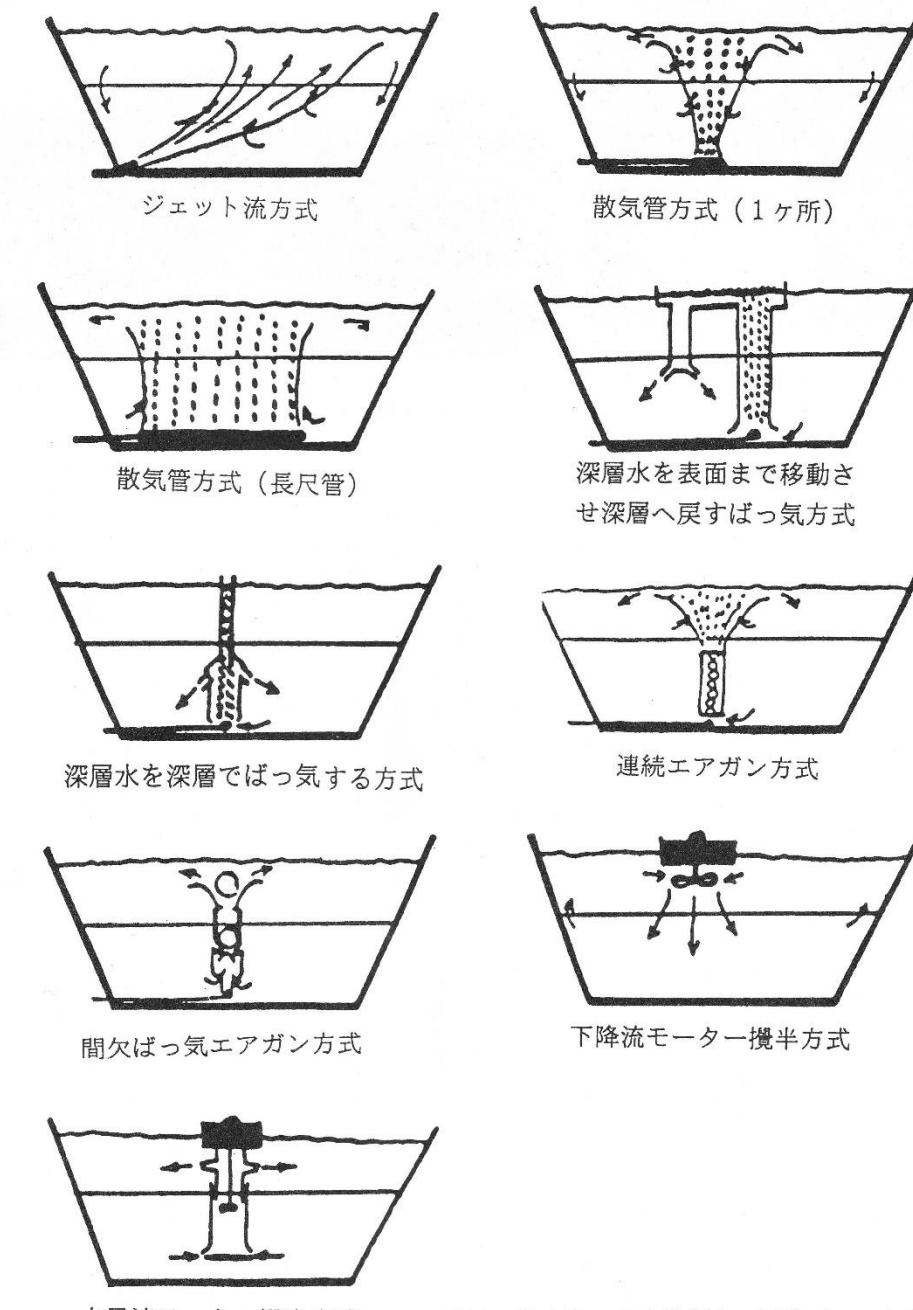


図3 貯水池の水を攪拌して植物プランクトン繁殖を抑制する各種方法

また、ろ過池での藻類被膜現存量の変化をろ過継続日数との関係で調べた。クロロフィル量で表した変化は使用開始とともに増加し、20日程度になると最高になり、その値は約 $280 \text{ mg Chl a/m^2}$ で、上田市の浄水場とあまり変わりがなかった。しかし、その後急激に減少することがわかった。多分、ろ過池で動物プランクト

ハヤニスリに幼虫に捕食されたらしいと思われた。クロロフィルの分解物のフェオフィチン量も分析したところ、日数とともに活性が悪くなることがわかった。何故このように活性が悪いかなどを検討する課題が浮かび上がってきた。

さらにろ過水中の溶存有機炭素濃度を予備的に分析したが、粒状活性炭層を砂層内に挿入したろ過池と活性炭がないろ過池では有意の差がでてなかった。砂層内での水の通過速度は1時間に約40cmであり、数センチの粒状活性炭の層を一度だけ通過させてもあまり除去効果がないのは当然のようである。テリーに言わせると活性炭を1年以上効力を持続させたいとのことであるが、どう考えても無理がありそうである。今後も何度も検討をしたい。

## 5 おわりに

ロンドンへ行く前の9月末に米国の緩速ろ過池を見てきた。米国では1974年の塩素処理による発ガス物質トリハロメタンの生成が問題になつてからは、生物処理の緩速ろ過処理が注目され始めた。この発表以来、アメリカでは緩速ろ過処理、生物処理の見直しが盛んになり、現在盛んに緩速ろ過処理による浄水場を建設している。アメリカ水道協会およびアメリカ環境保護庁主催で1991

年に緩速ろ過処理に関する国際会議が開催された。1991年4月の日本にはアメリカ水道協会主催の緩速ろ過処理の研修会がオレゴン州で開催され、筆者も参加した。この会では緩速ろ過処理に対する再認識、再発見、再評価、現代に応用できる古い技術として、主催者や発表者は意氣盛んであった（中本、1995）。日本でも多くの人々が生物処理の緩速ろ過処理に興味をもつてもらいたい。

最後に、この共同研究打ち合わせのためのロンドンへ行きに對して英國文化協会（British Council）から旅費の助成金を頂いたりむは感謝します。

### 参考文献

- 中本信忠（1993）：緩速ろ過のためのロンドンへ行きに對して英國文化協会（British Council）から旅費の助成金を頂いたりむは感謝します。
- 中本信忠（1995a）：生物処理の緩速ろ過処理について、水35（1）：56-58
- 中本信忠・坂井正（1995）：緩速ろ過池で繁殖する藻類とその有効利用、35（13）：29-34
- 中本信忠（1995b）：生物利用可能な栄養物質を評価するMBO法、月刊下水道、18（2）：17-23
- 中本信忠（1995c）：アメリカ水道協会雑誌、64（15）：18-22