

ナチュラルシステムの概要 —米国における適用事例—

沢野伸浩¹・中 登史紀²

¹星稜女子短期大学

〒920 金沢市御所町西 1

²中技術事務所

〒921 金沢市泉野出町 4-1-16 野村ビル 302

要旨：すでに米国においては、ナチュラルシステムと呼ばれる下水処理手法が実用段階へと達し、施設設計に係る指針等が既に発行されている。筆者らはそれらの文献の翻訳を進めるとともに、実際にカリフォルニア州の施設の視察を行った。本論では、San Pasqual Aquatic Treatment Facility にみるホテイアオイを用いた水生生物処理法、Gustine にみる人工湿地法、Camarillo にみる低速浸透かんがい法、Stockton にみる酸化池について報告する。米国においては、全国一律な処理方式が採用されるのではなく、その地域の特性に応じた処理法が選択され、施設が運用されている。

キーワード：ナチュラルシステム、水生生物処理法、人工湿地法、低速浸透かんがい法、安定化池

ナチュラルシステムについて

ナチュラルシステムは様々な方式によって構成されるが、それらは全て「自然環境の構成要素」を下水処理に用いるという点で共通している。一般的に植生、土壌、陸生および水生の微生物、さらに程度は限られているが高等生物の関与により、下水処理を「自然」な速度で進行させていく。従来の活性汚泥法も、微生物の活動に依存するという点で「ナチュラル」な処理法ということもできるが、高い処理効率を維持するため、酸素供給などに大きなエネルギー

が必要とされる点で両者の概念は大きく異なっている。

ナチュラルシステムは従来の処理方式と比較した場合、少ない運転要員、少ないエネルギー消費、さらに発生する汚泥量が少ない、などの特色を持つ。もしこの方式の特色を十分に活かすことのできる敷地を確保することができれば、建設、運転の両面で他方式より対費用効果に優れたものとすることができる。

なお、本年度環境庁による「生態系を活用した水質浄化事業補助」を内灘町と金沢市が受け、既に事業が開始されている。こ

これらの事業は以下に示した分類に従えば、内灘町の方式が水生植物処理法、金沢市の方式が湿地法となる。

ナチュラルシステムの技術の構成

筆者らは河北潟湖沼研究所の高橋久・永坂正夫の両氏を加え、現在“Natural System for Wastewater Treatment”(Water Pollution Control Federation, 1990)の翻訳、出版準備を進めている。以下の分類および解説は主としてそこからの抜粋である。

水生植物処理法 (Floating Aquatic Plant System)

下水処理のために、浮漂植物(floating aquatic plant)の生物生産を積極的に活用する処理方式である。浮漂植物が水の表面に存在することで日光の透過が制限され、その結果処理池内の藻類発生も制限される。また植物の根が下水中から特定の物質を吸い上げる役割を果たし、さらに根茎が付着生物の成長を支える基質となることも知られている。

初期の研究は主にホテイアオイに対してなされたが、現在ではチドメグサ類、ウキクサ類、あるいはいくつかの沈水植物まで広がっている。

この処理法は植物の生育に依存するため、施設の運転が気候による制限を受けるが、安定化池(stabilization pond)の能力を補うためや、他の処理法の仕上げ段階をさらに進めるためなどに用いられている。施設設計や運転にもよるが、二次から三次の処理能力を持ち、また高い処理能力を維持するためには定期的な植物の収穫が必要とされる。

緩速浸透かんがい法 (Slow Rate Land Treatment System)

この処理方式は下水の供給量を制御した上で、植生に覆われた土の表面へ流す方法と定義される。寒冷気候下においては植物が生育しなくなるため、一時的な貯留槽が必要とされる場合がある。また、樹木で覆われた土地を用いることで、気候にかかわらず年間を通じて運転することができる。

下水の流し方には様々な方法が利用可能であるが、下水を浸透させた後、土壤中を垂直や水平に流れ濾過される。間欠的に下水を供給することで土の中の好気性微生物の活動層を復活させることができる。この手法ではとりわけ植生の選択と管理が重要なポイントとなり、また供給下水に適切な前処理を行い、土の閉塞を最小化させることも必要とされる。植生および地表面近くの活性の高い生態系の上に下水を供給することで、優れた処理能力が得られる可能性を持ち、処理下水の敷地外への排出をなくすこと(zero discharge)のできる方式である。

安定化池法 (Wastewater Stabilization Pond System)

安定化池は数千年にわたり下水処理に用いられてきており、米国においては7,000近くの施設が稼働している。処理はおおまかには池内の微生物や下等な動植物に依存している。安定化池法として通性池(facultative pond)、部分混合ばつき池(partial-mix aerated pond)、排出制御池(controlled discharge pond)、全滞留池(total retention pond)、かんがい法とともに用いられる貯留池(storage pond)、酸化池(oxidation pond)などがある。

一般的に安定化池法は、土壌処理法(land treatment system)と比較して敷地面積が少

なくてすむが、前者と同等な処理水質を得ることはできない。通性池および部分混合ばつき池は、運転される季節や藻類の量によるものの、二次処理水準の水質を満足することができる。

湿地法(Wetland System)

湿地とは、年間を通じて少なくとも土壌表面あるいはその上部に水面が存在し、かつ土壌が十分な水分含み、植物が生息できる環境にある土地と定義される。

通常下水を処理するために建設される湿地は、人工湿地(constructed wetland)と呼ばれ、以下の2つの種類が存在する。一つは自由水面方式(FWS: free water surface type)であり、この方式では表面を流れる水が大気と接触することにより大部分の酸素供給が行われる。もう一つは植栽ろ床方式(VSB: vegetated submerged bed type)と呼ばれ、この方式においては水面は透水層と同じ、もしくはそれより低く保たれる。酸素輸送は植物の根を通じて行われ、植生は両方の方式とも重要なものである。それは直接的な汚濁物質の吸収よりも、むしろ酸素を土壌に供給する物理的システムとして存在することがより重要である。自由水面方式では完全な押し出し流れ(plug flow)状態にするために、施設の縦横比が大きく設計される。

地下浸透処理法(Subsurface Wastewater Infiltration Systems)

この方式は米国で広く普及している下水処理法であり、現在数百万の腐敗槽地下浸透設備が稼働しているといわれている。下水は通常腐敗槽で固形分や油分の除去を行い、その後パイプや水路などで土中へと流される。また、この方式は一家族程度の小

規模なものから複数の世帯を扱うもの、さらに商業用施設などにも用いられている。

急速浸透かんがい法(RI法: Rapid Infiltration Land Treatment System)

この方式は、比較的透水性の高い土壌を持つ浅い浸透池に、下水を制御し供給する方法と定義される。浸透層の好気性を回復し、処理能力を最大化するため、周期的な下水の供給が行われる。供給された下水の流れの形態はSR法と類似したものである。この方式では処理池の植生を考慮する必要がなく、また、運転中に生えてくる雑草なども特に問題にはならない。浸透層表面の閉塞を防ぐために一次処理と同等な前処理が必要とされ、浸透表面の定期的な維持管理も必要である。非常に優れた処理能力を持つが、水量負荷の大きさや植生の関与が全くないことにより、窒素除去能力に限界があることが知られている。

表面流下かんがい法(OF法: Overland Flow Land Treatment System)

表面流下かんがい法では、下水は上流側から植生に覆われた斜面を薄い層状に流され、その後集水溝に集められる。この方式は土壌の透水性が比較的低い場所に適している。下水を通常1日数時間流し、これを週あたり5~7日行う。この処理法では植生が極めて重要な役割を果たしており、水に浸されても生育可能な植物種が選択されねばならない。スクリーン通過後の下水を流した場合、二次処理と同等もしくはそれ以上の能力を持つ。窒素の除去能力はSR法と同等であるが、下水と土との接触が限られるため、リンの除去能力は劣っている。

視察

視察は2回行い、第1回は1995年8月20日～9月4日、第2回は1996年2月24日～3月5日である。第2回目は第1回を補完する目的で行われ、場所は第1回と同じ1)に示す San Pasqual Aquatic Treatment Facility である。視察先はいずれも米国カリフォルニア州にあり、以下に視察先と処理法、また施設ごとの概要を示す。

1) 水生植物処理法

The City of San Diego San Pasqual Aquatic Treatment Facility
Highland Valley Rd.
Escondido, California 92025
Phone: 619/538-8190
Fax: 619/538-8195

2) 緩速浸透かんがい法 (SR 法)

Camarillo Wastewater Reclamation Plant
601 Carmen Drive
Camarillo, California 93011
Phone: 805/388-5332
Fax: 805/482-5547

3) 安定化池法

City of Stockton Department of Municipal Utilities
2500 Navy Drive
Stockton, California 95206
Phone: 209/937-8789
Fax: 209/937-8777

4) 湿地法

City of Gustine Public Works
682 Third Avenue

P.O. Drawer A

Gustine, California 95322-0016

Phone: 209/854-6183

水生植物処理法 The City of San Diego San Pasqual Aquatic Treatment Facility

(San Diego 市)

San Diego 市は、Los Angeles の南に位置する大都市であり、メキシコ国境に接するカリフォルニア州最南端の町である。多くのカリフォルニア州の町と同様に、この町も必要な水の確保が困難であり、上水などに必要とされる水は市域外から受け入れている。

今回視察したサンパスカルの水生植物処理施設も水不足を解消するため、下水を新たな水源として認識し、再利用の可能性を探ることを目的とした試験施設である。

(実験施設の目的)

この施設は、San Diego 市によって行われている下水の再利用を目的とした Water Recovery Project の一環として建設されたものである。この計画は既に、Aqua I (1980 年開始)、Aqua II (1984 年開始) とすでに2段階のステップを踏み、第3段階の Aqua III のプラントとして1993年に運転が開始されたものである。米環境保護局(EPA)が建設資金を提供し、San Diego 市が要員の人件費を含めた維持管理費用を受け持っている。この実験は、今後10年間この施設で続けられる予定とのことである。

この実験プロジェクトの目的を大別すると、かんがい用水としての利用(二次処理水を消毒してかんがい用水として利用)、上水として利用(高度処理用水をまず家庭

の水洗便所などの雑用水として利用，究極的には飲み水として利用），発生汚泥や収穫されたホテイアオイの農業利用（コンポスト化）の3点である。

（下水水量，水質）

流入下水は，San Diego 市の北に位置する Escondido 市の下水を利用している。スクリーニングを済ませた後にポンプで揚水しており，水量は 1.2 million gallon/day（約 4,500m³/day）で，水質は BOD5 で 100 mg/L 前後である。

（ホテイアオイ池）

この施設の最大の特徴は，浮漂植物であるホテイアオイ (*Eichhorinia crassipes*) を二次処理池で利用していることである。池の中には，グッピー，カダヤシ，コイ，ザリガニなども放されている。これらは植物，魚，微生物などによる一つの生態系を処理池内に形成し，自然の浄化力を最大限活用することや，処理池から発生する蚊の問題などに対処するために行われているものである（写真1）。

ホテイアオイによる処理池は，4つの流入ボックスがあり，1ボックスから6池へ均等に供給されている。全部で24池あり，それぞれの池の形状は次のとおりである。

池の長さ 420 feet（約 130 m）

池の幅 35 feet（約 10 m）

池の深さ 5 feet（約 1.5 m）

池の長さ方向に沿って，池の底の中心に散気管が走っている。下水は1池あたり，8個所から段階注入 (step feed) され，流入下水量の約 1/2 が池の流出端から流入端へ循環水として戻されている。この循環水によって流入下水が希釈されることとや，散気装置の働きで処理池内の魚やザリガニな

どの生物が生息できるよう管理されている。なお，処理池内の DO 濃度は 1 mg/L を下回らないように定期的に監視が行われている。また 1994 年に処理池内で実験的にニシキゴイを飼育したところ，1年間で何倍にも成長したとのことである。なお，ニシキゴイは米国内でも高く取り引きされているため，飼育実験を行ったとのことであった。

段階注入が採用されたのは，Aqua II の経験から，流入端から全量を供給すると下流が栄養不足を起こし，ホテイアオイが枯れたためということである。

この施設では，とりわけ蚊の繁殖抑制方法の研究が行われている。これは，1986 年にカリフォルニア州ではマラリアが発生し死者が出たため，伝染病を媒介する蚊の発生が予想される場所が徹底的に管理されるようになったためである。この施設では昆虫の専門家が2名常駐し，蚊を採集するトラップ，幼虫の発生を調べるためのヒシヤク，それらを運搬するための専用の手押し車などが自前で作られていた。さらに蚊の発生を調べるため，夜間に鶏を場内に放し，翌朝その血液を検査することで人を刺す蚊の発生の調査も行っているという。また，蚊の繁殖抑制のために BT 剤の使用なども検討されたが，現在は，日の入りの 30 分前から日の出までスプリンクラーによる散水を行うことによって効果的な制御に成功している（写真2）。スプリンクラーによる散水を行うことで池の水面が常に乱され，成長した蚊が再び処理池に戻って産卵すること阻害するためとのことである。

このホテイアオイ池によって，水質は BOD5 で 2～12 mg/L 程度まで処理され，また池の平均的な滞留時間は，約 4.5 日である。

水生植物処理法では成長した植物の収穫が不可欠であるが，ここではホテイアオイ

の成長の良い夏期には2週間に1回の割合で1池の50%を収穫している。ホテイアオイの収穫の装置は、既製品は重量が重すぎて制御が困難で、ホテイアオイをつぶしたりライナー（池の漏水防止シート）を傷つけたりしやすいので、自前で改良したものが使用されている。

冬季にはまれにこの地域にでも、氷点下まで気温が下がることがある。ホテイアオイは、寒さに弱いのでそれを保護するため、温室を用いた実験を行ったが、根が小さく茎の部分が長くなりすぎて倒れて枯れてしまうことが多かったという。現在では温室は用いず、霜などが予測される場合は、夏季、蚊の発生抑制に用いるスプリンクラーを運転することで特に大きな被害は起こっていないとのことである。

（維持管理）

運転要員は、オペレーター8名、メンテナンス要員5名、昆虫の専門家2名、ホテイアオイ収穫要員2名等で構成されている。

（二次処理水の利用）

二次処理水は消毒して、かんがい用水等に供給している。かんがい用水として、国道15号線沿いの畑に販売しており、またカリフォルニア州の運輸局とも契約し、フリーウェイの植栽への散水供給が行われている。

（高度処理施設）

この施設はまた、処理下水を上水として利用するための実験施設でもあり、流入水量の半量は高度処理施設によって処理されている。ホテイアオイ池で二次処理された下水は、砂ろ過、紫外線消毒、逆浸透膜、活性炭処理、エアストリッピングなどの処

理を経る。飲み水として利用するために、公衆衛生学的な研究が行われ、その成果が1992年には”Total Resource Recovery Project HEALTH EFFECTS STUDY Final Summary Report”などとして既にまとめられている。飲み水程度の水質までの浄化の必要のない雑用水としては、近隣に開発される住宅に提供する計画とのことである。

（収穫したホテイアオイの処理と利用）

収穫したホテイアオイを粉砕し、脱水した後、ホテイアオイ単独で発酵させてコンポストを作っている。ホテイアオイは脱水して水分が70%程度になると自然に発酵して、黒色の特に臭いもないコンポストとなる（写真3）。現在、本格的に農家などへの供給は行われていないが、安全性が確認された時点で順次供給を行うとのことであった。場内の装飾用植物などには肥料として使われていた。

緩速浸透かんがい法（SR法） Camarillo Wastewater Reclamation Plant

（Camarillo市）

Camarillo市は、Los Angelesから北へ45 mileくらいのところに位置した、人口約55万人の町である。農業に加えて先端産業の企業誘致も行われ、比較的豊かな町であった。カリフォルニアの他の町に比べて、溪谷に位置するため土地が少ないようである。

（下水量）

下水処理場の処理能力は、計画で6 million gallon/day (24,000m³) であるが、現在の流入量は4 million gallon/day

(16,000 m³) 程度である。流入下水には、約 10% 先端産業や食品加工工場などの産業排水も含まれている。

(処理方式)

下水処理場の処理方式は、コンベンショナルな処理方法で活性汚泥完全混合方式が採用されている。処理場は旧プラントに変えて、1994 年に新プラントが稼動したばかりである。施設に余裕もあるのだろうが、BOD₅ で 5 mg/L 程度の処理水質がコンスタントに得られているようであった。

新施設は、完全混合式の活性汚泥方式であるが、米国の中小規模のコンベンショナルな活性汚泥法の施設では、このタイプが多い。このタイプの方式は、最終沈殿池でスカムの発生に悩まされるようであるが、新施設ではこのスクラムスキマーを改良し、現在は良好に運転されているようであった。旧施設のスクラムスキマーと新施設のスクラムスキマーの両方を比べて熱心な説明を受けた。

(汚泥処理)

汚泥処理は、最初沈殿池汚泥を嫌気性消化、最終沈殿池からの余剰汚泥を好気性消化していた。汚泥は乾燥床で乾燥の後、農地へ還元している。

(処理水の利用)

処理下水は二次処理後、塩素消毒を行い、年間を通して約半分がかんがい利用されている。供給は夏場は多く冬場は少ない。夏場はほとんど全量の処理水がかんがい利用されている。処理水質は、二次処理レベルである。処理水は 1972 年から無料で農家に提供され、販売はしていない。かんがい水の水質に起因するトラブルの可能性も

あるので、無料で提供することによってその責任を免れているとのことである。また、もともと水の不足している地域であるので、処理場の設置にあたってかんがい用水を提供することが条件だったということである。

この処理場の処理水によって、約 450 acre (180 ha) がかんがいされている。かんがい方法は、スプリンクラー方式とうね溝方式であり、地表勾配と作物によって方式を決めているようである。うね溝方式はうね溝を水がながれるような土地の勾配が確保できるところで採用できる(写真4)。スプリンクラー方式は、平坦なところでも採用できる。スプリンクラーは、10 cm 径くらいで長さが 8 m 程度のアルミ製パイプの端部に 1 ケ所、スプリンクラーがついたユニットを並べていくものである(写真5)。接続は簡単な差し込み式で、金具で固定できるようにになっている。これを種蒔きのあと、ある程度作物が成長するまで、耕地に適当な間隔で配置して散水する。収穫のときには、撤去して大型の収穫機械とトラックで収穫する。かんがい作物はトマト、ペッパー、セロリ、ブロッコリー、シュガービーツなどである。基本的に生で食するものではなく、ケチャップや香辛料などに加工するものが選択されている。ただし、ブロッコリーのように熱を加えてから食べるものは栽培されている。我々が訪れたときは、ちょうどトマトの収穫をしているところであった。セロリは 6 週間くらいで収穫でき、年に 5 回程度収穫するとのことである。

処理水がかんがい利用しないときは、塩素消毒後、残留塩素を SO₂ ガスを注入することで無害化し、処理場に接している小さな川に放流される。これは川の魚に対する

塩素の影響を除去するためである。

(その他)

下水処理場のスタッフは 16 人である。新施設の建設費は、計画処理能力 6 million gallon/day (23,000 m³) に対して、約\$15 million (15 億円, 7 万円弱/下水 1 m³) である。

(処理場からの処理水質と排水規制値)

Camarillo Sanitary District Self Monitoring Discharge Report の July 1995 から毎日計測された、自動コンポジットサンプラーによるデータを一部抜粋し、表 1 に示す (単位はいずれも mg/L)。

安定化池法 City of Stockton Department of Municipal Utilities

(Stockton 市)

Stockton 市は、San Francisco の東約 100 mile, 車で 2 時間くらいに位置する人口数十万の市である。九州の久留米市と姉妹都市であり、毎年人的な交流があるとのことである。

(処理方式)

この町の下水処理場は、現在、散水ろ床と安定化池 (酸化池) を組み合わせた方式をとっている。1918 年に運転が開始され、1940 年には散水ろ床 (ロックフィルター) 6 池の運転を開始したが、現在ではこれら

の施設は使用されていない。同じ場所にプラスチックろ材による散水ろ床施設 (Biotower) が建設され、現在 3 池が稼動していた。また、町の発展と共に下水水量が増加し、過負荷状態であり、新規の処理施設の増設が行われていた。

(下水水量)

処理場は、人口 56 万人分に相当する下水を処理しているが、下水水量は 48~120 million gallon/day (180,000~450,000 m³) 程度の範囲で変動する。その原因は、雨天時に雨水の流入があることや、さらに 6 月から 9 月にかけてはトマトなどの農業生産物の缶詰加工が行われるため、下水水量が著しく増加する。その他にも各種の工場排水の流入もあるとのことである。なお、場内には家庭用の腐敗槽 (septic tank) からの汚泥を受け入れるための施設もある。

(従来法施設、散水ろ床法)

下水流入部のボックス部は、密閉された下水管路を通じて下水とともに流れてきた空気が解放される場所である。臭気を周辺へ発散させないようにするため、空気を取り入れ口を設け、エアーを引き抜き減圧し、この空気を散水ろ床の下部へ供給している。

スクリーンに粗目スクリーンはなく、細目だけである。自動かき揚げ機とコンベアーの組み合わせでスクリーンカスを集め、機械乾燥している。

表 1. S R 法の測定データ

	Influent TSS	Influent BOD	Effluent TSS	Effluent BOD
30 day Average	208	257	8.4	5.4
7 day Average	222	264	11.5	9.3

沈砂は、パーシャルフリュームとコンスタントフローチャンネルを組み合わせ、沈砂のかき揚げは、かき寄せ機とスクリーコンベアーで排出している。

横軸の污水ポンプによって、地下の污水ポンプ井から最初沈殿池へ送水されている。最初沈殿池は、矩形の沈殿池である。周囲には、臭気を消去するための噴霧が行われていた。散水ろ床はプラスチックろ材で、外壁の高さは 10 m 程度ある（写真6）。4 本アームの回転散水機が稼動していた（写真7）。最終沈殿池は円形である。そこから San Jakin 川を渡り、酸化池へ送水されている。

（安定化池）

ここで用いられている安定化池は全体が好気性に保たれる酸化池(oxidation pond)である。その規模は、4 池、約 680 acre (280 ha) から構成される。この施設では散水ろ床に引き続いて用いられ、滞留時間は 3~6 週間となっている。池の深さは正確にはわからなかったが、およそ 1~2 m と思われる。1 池が数十 ha と広大であるので、周囲に水路を設けて均等に流入するように工夫されている。

酸化池の定期的な浚渫などは行っていない。酸化池は、カモ類の中継地点になっているが、魚は放流されていない（写真8）。

（三次処理施設）

酸化池を経た処理水は、三次処理（藻類除去と砂ろ過）施設を経て、消毒用の塩素を注入され、塩素混和のためのチャンネルを通過し、San Jakin 川へ放流されている。

三次処理施設に隣接して、処理水から除去した藻類を貯留する池があり、この池は、10 年ごとに浚渫が行われる。

（悪臭対策）

沈殿池、散水ろ床の施設の臭気対策として、施設の周囲に化学薬品の噴霧を行っていた（写真9）。悪臭物質と分子的につながり、臭いがしないような物質に変える効果がある化学物質とのことで、これにおおよそ \$25 million (25 億円) が費やされたとのことであった。

（処理水等の再利用）

処理水利用は行なわれていないが、場内には汚泥を利用した発電装置を備えている（写真10）。

（汚泥処理、処分）

汚泥の処理は、嫌気性消化槽によって安定化し、機械脱水する方式である。嫌気性消化の後、スラッジラグーンへ送り、そこから脱水施設へ送ることになっている。脱水した汚泥は、近くの農家が車で取り来るとのことであった。嫌気性消化槽の増設や脱水設備の新設の建設が行われていた。

汚泥の利用は綿花の耕作地に供給されているが、野菜など食物栽培への供給は法律で禁じられている。

（酸化池の安全対策）

酸化池全体は、有刺鉄線のフェンスが張りめぐらされ、外部からの侵入が簡単にできないようになっている。管理者の許可を受けると内部に入ることができる。入り口の扉は、セキュリティシステムが採用され、差し込式のキーでなく、特別のキーを所定のところに当てると自動的に開くシステムであった。

表 2. 安定化池法の測定データ

	Influent	Biotower Effluent	Secondary Effluent	Tertiary Effluent
Average	349.29	98	37	4.8
MAX.	850.00	180	69	12.0
MIN.	130.00	35	21	2.6

(処理能力)

1995 年 7 月度の処理データを表 2 に示す。なお、水質項目は BOD5 であり、単位はいずれも mg/L である。

湿地法 City of Gustine Public Works

(Gustine 市)

Gustine 市は、Stockton 市から国道 5 号線を南へ約 50 mile くらい下ったところに位置している。この周辺は、カリフォルニアの典型的な農業地帯で、延々と農耕地が広がっている。この農耕地の真ん中に位置する農業主体の、人口 4,000 人程度の小さな町である。

(処理場へ)

下水処理場は、市街地から少し離れたところであり、自然流下で集められ敷地内の小さなポンプで揚水されている。処理場には簡単な水質試験装置を備えた小さな管理棟があり、管理人は 1 人が常駐する。

(処理場への水量、水質)

流入水量は、平均 1 million gallon/day (4,000m³) 程度である。処理区域内には、大きな食品加工工場が 2 つあり、これらの工場からの排水が、水量の約 6 割、BOD 負荷量の約 9 割を占めている。工場の 1 つは、ジュースやトマトのかんづめ工場で、もう

1 つはチーズ工場である。特にチーズ工場の負荷が大きいという。流入水質は、BOD5 で約 1,500 mg/L にもなる。

(処理方式と規模)

流入した下水は、曝気ラグーン→安定化池→人工湿地→塩素消毒の順に処理される。第 1 池目に、機械曝気装置を備えた曝気ラグーンがあり、続いて 11 池の安定化池が直列に配置し運転されている（うち 1 池は、汚泥引抜きのため乾燥中であった）。その処理水を人工湿地に送っている。全体で 75 acre (約 30 ha) の敷地面積があり、そのうち人工湿地が 25 acre (10ha) を占めている。

安定化池 1 池の大きさは、約 1ha であり、深さは、6~7 feet (1.8~2.0 m) である。また、全体の滞留日数は 60 日強である。最終の安定化池の出口での BOD5 が、40 mg/L 程度とのことであった。

(曝気ラグーンを採用した理由)

もともとは、第 1 池目も曝気装置のない、普通の安定化池であったが、1990 年の冬に、規制値をオーバーしたので、処理能力を上げるために曝気装置を整備して曝気ラグーンにしたとのことであった。曝気装置がないときは、最終の安定化池の出口で BOD5 が 90mg/L 程度、人工湿地の出口で水質規制 (30 日平均 20 mg/L, 1 週間平均 30 mg/L) を守ることができなかった。現在は、最終の安

定化池の出口で約 40 mg/L, 人工湿地の出口で約 20 mg/L であるという。

(人工湿地)

この処理場周辺はもともと湿地であったという。したがって、同様な環境を回復すれば、湿地性の植物は再び繁殖しやすいところでもある。この人工湿地は 1987 年から始められ、目的は主として BOD 除去であり、下水処理施設の一部として運転されている。下水は連続的に供給され、BOD₅ を 40 mg/L から 20 mg/L 程度に削減している。ここでの人工湿地は、4 つの section から構成され、さらに 1 section 内には、長さ約 1,000 feet (300 m), 幅 30 feet (10 m) の流れが 4 本ある(写真11)。

下水の供給は、分配槽で堰によって均等に分配され、Gated Pipe (水量調節用のゲートがついているパイプ) で供給される(写真12)。パイプには 1 m 程度の間隔で調節できる排出口が設置され、そこから供給される。人工湿地の入り口で 2/3 を供給し、途中で 1/3 を供給する段階注入の形がとられている。これは最初の流入部への負荷を軽減するためと思われる。

湿地内の植生には、大別してホタルイ属とガマ属の 2 種類の植物が用いられている。ホタルイ属は、種による植え付けが行われおり、ガマ属の植物は周辺から持ってきて植え付けるとのことであった。

ガマ属の植物は、背が高くなり管理に困るということである。また、ホタルイ属の植物には 2 種類があり、背の高い方は管理がしにくい。

人工湿地の管理は、入口、出口の部分が水の流れを阻害しないように刈り取りが行われている。また、湿地内の草は毎年春に燃やしている。費用がかさむので、1995 年

は実施しなかったが、3 年ごとに全体をきれいに燃やして、堆積したスラッジも除去しているという。

ここでは、人工湿地を造成するにあたり、特に土壌改良は行わなかったという。土質はもともと粘土層であり、透水性は低いものと思われる。人工湿地に下水臭はほとんどなく、蚊の発生がみられるが、特に問題になるほどではないとのことであった。

(処理水の放流および再利用)

現在、処理水の再利用は行われておらず、小さな川を 11 mile ほど下り、San Jakin 川へ放流している。

処理水をかんがい用に再利用できない原因の一つは、処理水中のアンモニア濃度が高いため、パイオアッセイ (生物試験) によりこの問題が確認された。これは流入水の濃度が 50 mg/L と高いため、処理後の濃度が 10~20 mg/L 程度のことであった。

消毒用の塩素が、このアンモニアと反応して消費されてしまうので、多くの塩素注入が必要となり、費用もかさむことにも困っている。現在この改善策を検討中で、政府に補助金を求めている最中とのことである。

さらにこの施設では放流水の TSS が、藻類の影響で高いという問題もあるという。

(周囲に管理道路を兼ねた高い土手)

処理場敷地と周辺の耕作地との境は、管理用道路を兼ねた高い土手で囲われている。処理場内の下水が周囲へ氾濫しないようにするためであると思われた。去年の小さな雨と放流ポンプの故障で池や湿地が水浸しになったことがあるとのことである。

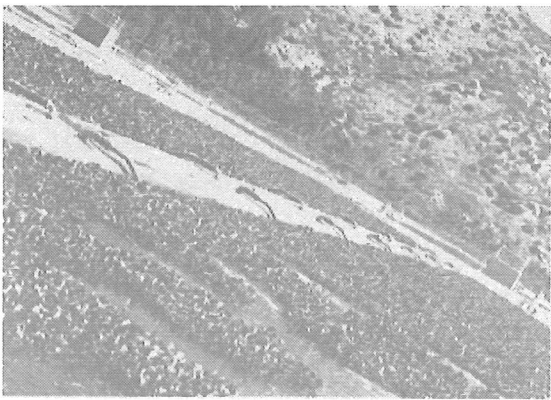


写真1 ホイオとステップ・パイプ

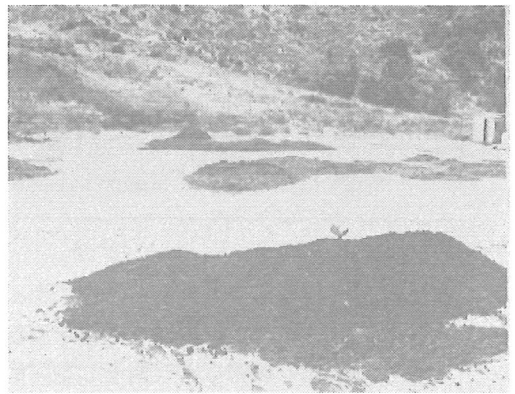


写真3 ホイオから作られたコンポスト

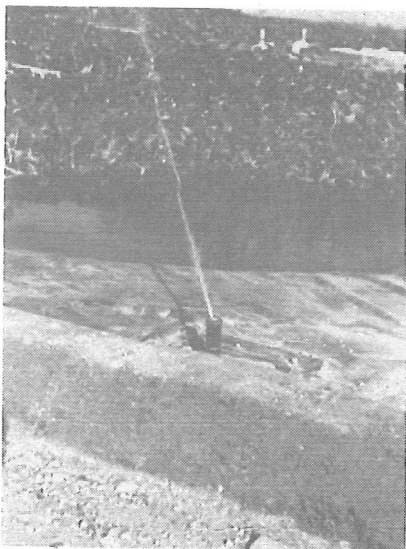


写真2 蚊の繁殖を阻害するためのスプリンクラー

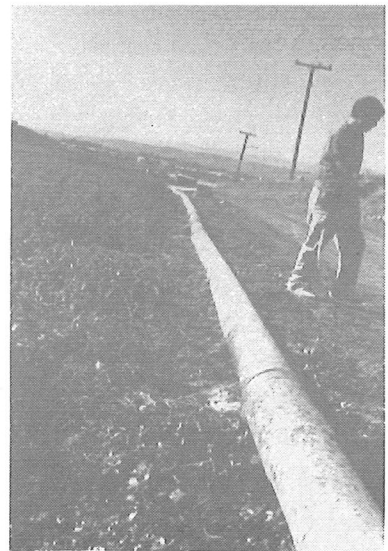


写真4 うね溝方式のかんがい

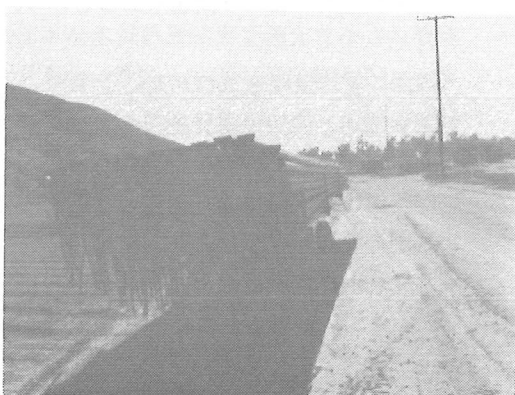


写真5 パイプ付きスプリンクラーを満載したトラック

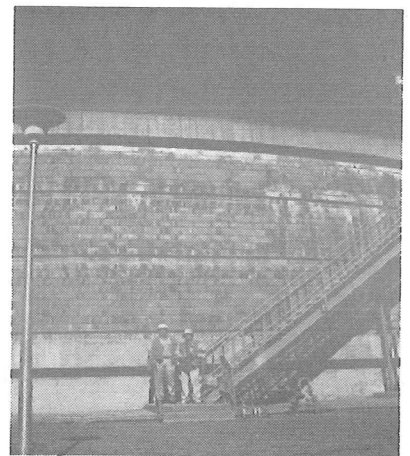


写真6 散水ろ床全体

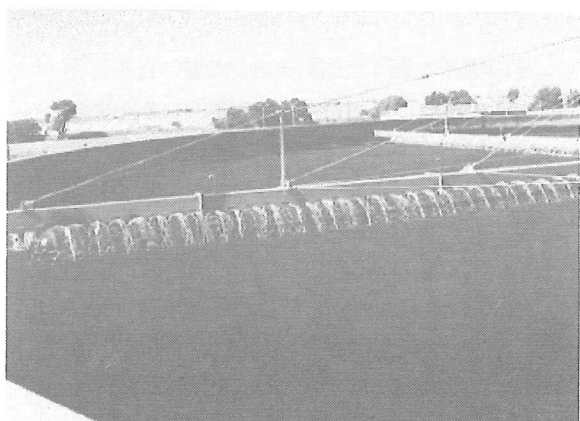


写真 7 散水ろ床内部



写真 8 酸化池の様子

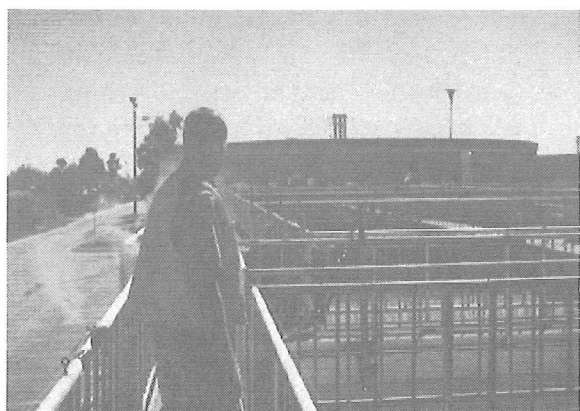


写真 9 臭気対策

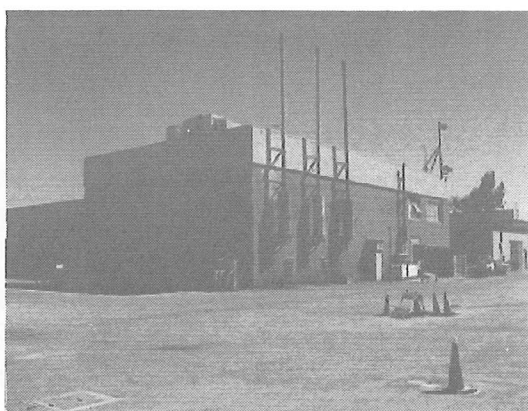


写真 10 発電装置

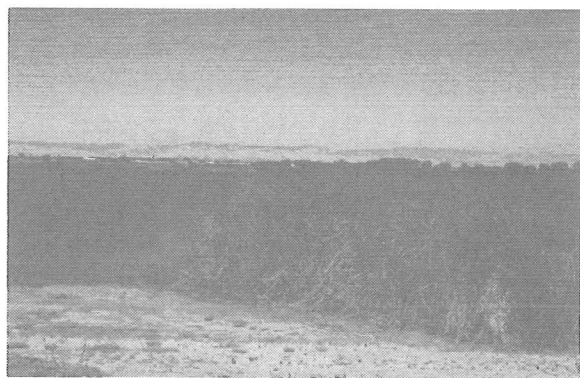


写真 11 人工湿地全景



写真 12 Gated Pipe による供給

終わりに

実際にアメリカにおける下水処理施設を見学し日本と比較してみると、おもしろい点に気が付く。米国の処理場では、ある町のとその隣の町では異なった処理方式がとられるなどしており、非常にバリエーションに富む。米国においても日本同様に活性汚泥法が主流となり、全国一律的な処理方式の採用が見られるが、ナチュラルシステムに関しては、自然条件の影響をより強く受けるので、その地域の特性に応じた処理法が選択され、施設が運用されていることは注目すべきであると考える。

下水処理手法、とりわけナチュラルシステムの選択に関しては、流入水の性質やその土地の気候などを勘案し、最善の処理方式が検討、選択されねばならず、この方式を日本に適用しようとした場合、これがまず大きな技術的課題となろう。

最後に、この視察を行うに際し現地の方々に世話になったことを付記し、あらためて感謝する次第である。なお、実際にアメリカに出向いて施設を見学する際の注意事項等を最後に記す。

視察を有意義に行うためには

以下の方法を取れば、WEF(Water Environment Federation)などで事前に予約を取らなくても、直接目的地を訪問し有意義な視察を行うことができる。

施設見学を行いたい目的の町に着いたらまず、City Hall か Civic Center を探す。その地域の地図は Liquor Shop (日本で言うコンビニやガソリンスタンドの売店) などで必ず売っており、購入した際についでに

その場所を聞く。City Hall に着いたら、たいてい Information があるので、そこで訪問の目的を話し、見学する施設の場所と話を聞く人の予約をしてもらう。San Diego などの大都市では、City Hall は各部所ごとに場所も建物も異なっており、そのような場合は Public Works を訪ね予約を取る。

予約の取り方は、まず自己紹介をして訪問の場所と目的をはっきりと伝える。Wastewater Treatment Facility を見学したいといえば、たいていすぐその場で予約してくれるか、どこの部署に行ったら予約すべきかを教えてくれる。

そして訪問先に直接連絡が取れる部署にたどりついたら、さらに詳しく訪問の目的を説明する。我々は WPCF の "Natural Systems for Wastewater Treatment" の翻訳をするためにその施設が見学したいと伝えた。この時、訪問する時間の確認と施設の場所をよく聞いておく。

アメリカの役所はカウンターの上に必ずその部署に属する人全員の名刺が置かれているので、紹介者の名刺と、もしあったらこれから訪問する先の人の名刺をもらっておく。この時自分の名刺も差し出したほうが話がスムーズに行く。

目的地へ向かう交通手段としては、短期の滞在であればレンタカーがベストである。一般的にアメリカの道路は日本の道路より道が分かりやすく、交通事情もよい。特に地方の都市では自分で車を運転する以外に移動の手段はないと思った方がよい。日本であらかじめ国際免許を取得し、アメリカでレンタカーを借りたら空いている道で "KEEP RIGHT" に十分慣れて置くことが必要。また、レンタカーは日本車を借りれば自動車の運転操作で戸惑うことが少ない。料金は 4,000 円/日程度、またガソリン代は

日本の 1/4 かそれ以下とアメリカ国内で、自動車による移動は非常に安くつき、宿泊にそこそこのモーテルを利用すれば快適かつ安価と、滞在に三拍子がそろう。もちろんモーテルは予約なしで利用する事ができる。

我々は見学の成果を逐次日本にパソコン通信を経由して送っていたので、モーテルに宿泊する前に部屋からパソコン通信が利用できるか確認した。モーテルの OFFICE に行って部屋を見せてくれるように頼めば、接続できるかどうかを宿泊する前に確認することができる。たいていのモーテルは宿泊する前に気軽に部屋を見せてくれる。

アメリカの役人（役所で働く人）は、市民への奉仕者という意識が非常に高く、またこのことに誇りを持っているようだ。訪問の目的をしっかりと相手に伝えれば、驚くほど親切かつ丁寧な対応をしてくれ、こちらが恐縮するほどである。今回の滞中で人口が 100 万を超える大都市から数千の小さな町まで見てまわったが、どこの対応も非常にすがすがしいもので、いやな思いなど一度もすることはなかった。

施設を訪問し、そこの担当者から話を聞き、実際に見学すると半日（3時間くらい）は必ずかかる。また、レンタカーで都市間を移動する時間や見学した内容をまとめる時間、アメリカの祝日などを事前によく調べ十分な余裕を持った見学計画を立てるべきであろう。

どの施設でもだいたいその施設の Brochure（ブローシャと発音する。Pamphlet と言っても通じない場合が多い）が作られており、必ずそれをもらうことを忘れないように。また、見学のお礼には地元のワイン（10 ドル程度）を渡すとたいへん喜ばれ

た。

最後に注意を 2 つ。

まず第 1 は、当然のことながら相手の言っていることが理解でき、自分の意志を相手に伝えられる英語力が要求される。お互い技術屋どうし、専門用語を並べれば意思の疎通はできると考えるのは禁物である。専門家の前に行く前に City Hall などですっきりと訪問の目的を言って、最低限予約を取れねば有意義な視察をすることはできないと考えるべきである。

第 2 はたまたま地図などで事前に Wastewater Treatment Facility などの位置がわかっても、そこは通常金網などで周囲が囲われており、一般の人間の立ち入りはできない。アメリカの下水道処理施設など Public Property へ無断で立ち入ると最悪逮捕される場合がある。柵の管理がいい加減で金網が破れたところなどがあっても絶対に無断では立ち入らないこと。予約を取り案内者がいれば、Authorized Personnels Only と表示された施設内も堂々として見学できるし、さらに詳細な説明を受けることができるのである。

参考文献

- Reed S. ed. 1990. Natural System for Wastewater Treatment. Water Pollution Control Federation (WPCF). 270 pp.
- Reed S., R. Crites & E. Middlebrooks. 1995. Natural Systems for Waste Management and Treatment. 2nd ed. McGraw-Hill, 433 pp.
- Tchobanoglous, G. & F. Burton. 1991. Wastewater Engineering 3rd ed.. McGraw-Hill. 1334 pp.