

米元晋一と当時の最先端技術　～合理式と散水濾床法の導入～

日本下水文化研究会評議員　谷口　尚弘

誕生から海外出張までの足跡

東京市技師であつた米元晋一さんは、明治四十四～四十五年、欧米各国（6ヶ国、48都市）に下水道調査のため出張し、帰国後、阪谷芳郎東京市長に出張復命書を提出しています。

その後、雨水量の算定手法の見直しや下水処理方法を再検討する仕事に携わり、その中で、「合理式」や「散水濾床法」など当時の欧米の最先端技術をわが国で最初に建設された三河島汚水処分場の設計に導入することになります。

今日は、これらの技術の紹介・導入にあたっての基本的な考え方とその背景について考えてみたいと思います。

米元さんは明治十一年九月、山口県岩国市に生れます。生家は廻船問屋を営む地域の素封家です。旧藩主・吉川（きつかわ）家の書生となり、広島第一中学、第二高等学校を経て東京帝国大学に入学し、明治三十六年土木工学科を卒業後、恩師の中島鋭治教授が東京市の技術顧問を兼任していた関係で東京市に奉職します。

最初、水道課に配属されます。羽村水衛所に赴任し、その後、河港課を経て土木課橋梁係に転じます。明治三十九年、日本橋改築工事の設計・施工の主任となり、花崗岩を用いたルネッサンス様式の二連式アーチ橋（長さ49m、幅28m）の建設を手掛けます（明治四十四年四月竣工）。橋桁

に「この橋は技師・工学士・米元晋一が設計・施工監督をした」旨の銘板がはめ込まれています。

明治四十二年、日本橋の改築工事の施工に携わる傍ら、中島さんの要請により下水道改良工事準備委員会の仕事も兼務することになります。

明治四十四年四月、日本橋の竣工とともに下水道改良課へ転勤となり、同年八月から下水道施設の調査のため欧米各国への出張を命じられます。

舞鶴まで汽車で行き、そこで船に乗り換えウラジオストツクで下船し、シベリア鉄道に乗りモスクワを経由してベルリンへ向かっています。ウラジオストツクからベルリンまで12日間を要しています。当時の学士は、外国から招聘した先生から教わるが多くテキストも英文であつたりと、少なくとも英語に関しては現在の学生より堪能であつたようですが、それにしても、ロシア語やドイツ語はどうしたのでしょうか。外国での一人旅さぞ孤独であつたことでしょう。

四十五年五月に帰国し、出張復命書・「下水道調査報告書」を作成しています。米元さんの欧米視

察当時、ヨーロッパでは大都市の下水道管渠網の整備は一段落していました。しかし一方で、管渠の整備に伴い河川の水質汚濁が進行し、下水の無処理放流が新たな問題点となっていました。下水を処理することの意義が認識され始めていたのです。この当時、日本では下水処理に関する実績が全くありませんでした。もともと「処理」という概念がないわけですから、技術用語を翻訳するにあたって該当する日本語の言葉が無いことが多く、たいへん苦心した様子が見受けられます。

大正元年十二月、工学会で「下水の処分」に関する講演を行っています。

実験式か合理式か

下水道事業の歴史を振り返ってみると、技術や財政を巡っていくつかの論争があつたことに気がきます。例えば、

上水道が先か下水道が先か（明治中期）

在来水路の改良か新規建設か（明治中期）

合流式か分流式か（排除方式）

実験式か合理式か（雨水算定公式）

散水濾床法か活性（促進）汚泥法かなどです。

あることを実施するにあたって代替法との比較検討は当然のことですが、採用する内容が基本的な事柄である場合、それは極めて重要であるだけに、しばしば論争になることがあります。雨水の算定方法を巡る技術論争もその一つです。

中島鋭治博士（東京大学教授）を中心にして、明治三十七年から4年の歳月を要して東京の下水道に関する調査が行われました。3つの系統に分けて調査しています。第1区が芝浦系統、第2区が三河島系統、第3区が砂町系統です。実際の作業は、調査主任の茂庭忠次郎さん（初代は西尾虎次郎氏）が担当しました。余談ですが、茂庭さんは伊達藩で起こったお家騒動、いわゆる伊達騒動に関わった家老・茂庭氏の子孫の方だそうです。

排除方式は合流式とし、雨水量の算定にあたっては「ブリュクリ・チーグラール公式」いわゆる「実験式」が採用されました。この公式は、スイスの

チューリッヒの技師ブリュクリ氏とチーグラール氏とが一八八〇年に同市内のある流域に降った雨について市内の各地点で流量測定を行って作ったもので、降雨強度、排水面積、地表勾配および流出係数などの項からなっています。この算定法は、当時のヨーロッパの各都市で実績がありました。ただし、チューリッヒと同じような比較的平坦な地形の都市で採用されているものでした。

計画降雨強度は、当初、過去30年間の降雨データから、10年に1回の確立と考えられた1時間あたり1・25インチ（31・7mm）としました。ところが、明治三十九年から四十四年の6年間の降雨状況を見ると、どういふわけか強い強度の降雨が頻発し、31・7mm/時以上の降雨が9回にも及び、確率は1年にも満たないことが判つてきました。

こうした中で欧米留学から帰国したばかりの米元さんは、その調査内容を読んで現実にそぐわない面があるのではないかと考え、計画降雨強度を1時間50mmとしたうえで、さらに欧米から持ち

帰ったばかりの、ドイツで研究され欧米各地で普及しつつあった「合理式」に準拠して雨水量を算定すべきことを下水道顧問会議に提言しました。

中島さんを中心とする7人からなる顧問会議はこれを受入れました。この考え方は、現在でも区部下水道計画の基礎になっています。

米元さんは、実験式は地表勾配と面積のみを計算因子としており、時間の因子を無視しているため、2つ以上の流域から合流してくる雨水量を算定するには無理があると考えたのです。また、この式を適用する場合には、大きな面積に対しては無理が生じるので、面積要件に制限を設けるとともに、雨水量も短時間の強い降雨を1時間に換算すべきことを指摘しています。

ところで、大正から昭和へと時代が進むと、全国的に下水道に着手する都市が増えてきましたが、そうした中で、計画雨水量の算定式を巡って合理式か実験式かの技術論争が巻き起こりました。合理式を推奨する旗頭は米元さんであり、実験式推奨の雄は、東京市を退職して技術顧問として名古屋

屋市に赴任していた茂庭さんでした。

茂庭さんは、合理式が長期間の雨水量データから降雨曲線を作成しなければならないことに加えて、流入時間、流下時間、遅滞係数など理論的という割には、その算定式の項に推定または仮定要素が含まれており、また、合理式は実験式よりも一般的に雨水量が $1 \cdot 5 \sim 2 \cdot 5$ 倍も大きく算定される傾向にあることを指摘し、このため、下水道事業の財政上からも不経済になると主張しています。

論争それ自体は、決して感情的な対立ではなく、論争によってかえってそれぞれの理論が強化され、結果的に技術そのものの進展を促す効果があります。現に、合理式の過大雨水量については、東京市下水道課から東京大学に転じた板倉誠教授が、流域内における遅滞現象を見出し、合理式の理論化をさらに強化しています。平坦な地形では遅滞現象が生じ、実際の流出量が圧縮されるので、計算値より実値が少なくなることがあり、これが過大とみられた原因であったのです。

茂庭さんも晩年になって、永年にわたる実験式の研究成果をもとに、「古希翁公式」と名付けた修正公式を発表しています。

この技術論争は戦後まで続きましたが、現行の「下水道施設計画・設計指針と解説」では、原則として合理式を採用することになっています。

適用条件を誤れば、理論的にいくら正しくてもそれは意味のないことになります。適用限界を承知したうえで、地域特性などの条件の差や多くの前提要素のプライオリティーをどう評価するかによつて結論は変わってきます。また、未知な要件が解明された場合は、現状に拘泥することなく、思い切つてそれを取り入れる勇氣と度量も必要であることを歴史は語りかけているように思われます。

合流式下水道において、「晴天時の日平均流量の3倍までは処理場で処理（少なくとも沈殿処理を）しなければならない」という考え方がありますが、これは米元さんから端を発しています。その理由は、「管渠内の堆積物は晴天時の日平均流量の3倍

量以下では流れ去らないので、この流量以下までの場合は下水の汚濁程度が高いので処理しなければならない」というものです。

散水濾床法の導入

米元さんが視察した当時、欧米における下水処理法（当時は下水処分法といていた）は、ミュンヘン、ウィーン、リバプール、ニューヨークなどでは希釈法（無処理。放流先の河川や海域で15倍以上に希釈されることを期待）、フランクフルト、カッセル、ザンクトンなどでは機械式沈殿法（セプティックタンクを含む）、ベルリン、パリなどでは灌漑法、バーミンガム、マンチエスター、ボルチモアなどでは人工濾過法（充滿濾過法と点滴濾過法とがある）が採用されていました。灌漑法と人工濾過法は、生物学的処理法（復命書では微生物的清浄法といっている）です。

これらの中で、米元さんは英国で行われている処理方式に注目しました。英国は大陸に比較して河川が小さく流量も少ないので、下水の無処理放

流の影響が、ヨーロッパ大陸の場合よりもはるかに深刻になるからです。下水処理の研究開発が盛んで、下水処理に関しては英国が最も進んでいます。十九世紀末のランカシャーやヨークシャーでは諸都市が集まって独自に河川汚濁防止組合を作り、法律より厳しい排水規制を設けて自主的に水質汚濁の防止に努めていました。今という流域管理の発想です。日本ではいまだに実施されていませんが、英国では百年以上も前にすでに行われていたのです。

当初、三河島汚水処分場の処理方式は、セプティックタンク（腐敗槽、24時間滞留）と接触濾床（コンタクト・ベット）法とで計画されていましたが、米元さんは欧米における最先端情報を持ち帰って、これを本格的な生物学的処理法である散水濾床法（復命書では点滴濾過床といっています）に変更しました。といいますのは、当時欧米ではセプティックタンクと接触濾床法との組み合わせの処理法について疑問符が投げかけられていたからです。

接触濾床法は、イギリスで発案された、下水中に生息している微生物を利用して下水を浄化する処理法で、砂利やコークスを1・5mぐらいの厚さに敷き詰め、そこに下水を少しづつ流し、ときどき下水の流入を中止し、砂利の間に空気を取り入れるという操作を繰り返す間欠的な処理法です。下水を流している間に、砂利やコークスの表面はベトリとした微生物の膜で覆われ、この生物膜が下水中の汚れを吸収して分解し、水を浄化してくれるというわけです。

これに対して、散水濾床法は、点滴的に下水を散水しながら微生物に必要な空気（酸素）を濾床の下部から自然に吹き上げさせる仕掛けで連続的に下水を処理できるように改良した方法です。

米元さんが英国を訪れた頃、バーミンガムやリーズなどでパイロットプラントにより充満濾過法（接触濾床法）と散水濾床法との比較実験が行われ、処理効率において後者の優位性が確立しつつありました。そこで、米元さんもパイロットプラントによる実験調査を春夏秋冬に分けて行うよう

提案しました。

しかし、東京市は事業の実施を急いでおり（屎尿の下水道への投入や財政上からの反対論者が多数いたことに配慮）、顧問会の中島鋭治さんは、実験はせずに文献調査により最適な処理法を決めるよう、そして、もう少しかかないようであれば途中で設計変更してもよいからと、米元さんに全面的に任じました。当時三十代半ばの米元さんは、非常に感激した反面、その責任の重大さに悩み身も震える思いではなかったのではないのでしょうか。

米元さんは、英国での調査結果を参考に、間欠運転の「接触濾床法」をやめて、連続運転の「散水濾床法」に変更し、また同時に、セプティックタンク（腐敗槽）を沈殿池（滞留時間6時間）に変え、さらに散水濾床の後に最後沈殿井（最終沈殿池）を追加することにしました。セプティックタンクについては、敷地面積が大き過ぎる、沈殿汚泥が腐敗し臭気が強く、脱水し難いなどの難点を挙げています。そして、改めてこの変更案を顧問会に図り同意を得ています。

散水濾床法は、表面に近い碎石には亜硝酸菌が、深部の碎石には硝酸菌がそれぞれ棲み分けており、有機物分解菌による有機物の浄化に加えて、硝化作用も旺盛でアンモニア成分の除去に優れていました。しかし、実際に運転してみると、濾床蛆の発生に悩まされたほか、処理水の透明度の点で、その後に開発された活性汚泥法に劣るところがありました。

帰国後の活動

米元さんは大正三年から三河島汚水処分場建設に携わるほか、東京海上ビルの水洗便所及び浄化槽の設置に、西原脩三氏（大正元年から数年間東京市下水改良事務所に勤務していた当時、米元さんの部下であった）を指導する形で関わります。当時は、終末に処理場の無い下水道（一般下水道に直接尿尿を流すことが、汚物掃除法により禁止されていたのです。腐敗槽、酸化槽、消毒槽から構成される、わが国で最初の本格的な浄化槽（水

槽便所といった)です(大正九年竣工)。西原さんはこの仕事に成功し、西原衛生工業所を設立することになります。

恩師の中島教授が病に倒れたため、大正六年から母校の東京大学の講師を兼職し「下水道学」を講じています。後輩の草間偉(いさむ)さんが赴任するまで続けることになります。ちなみに、草間さんは大正七年に欧州に留学し大正十年に帰国し、四月に土木学会で活性汚泥法を日本に初めて紹介しています。しかし、もうこの時すでに、三河島汚水処分場の散水濾床は建設の途上にあつて設計変更がきかない段階にまで工事が進んでいました。大正八年には工学会誌に「都市計画と下水道工事」について論文を投稿しています。

大正四年に臨時下水道改良課長に就任し、さらに同九年、水道拡張課長兼務となります。

ところが、東京市政の道路、ガス、電気、都市計画、下水道の各部門を巻き込んだ「東京市大疑獄事件」(支給材である砂利の横流しに関わる汚職事件)が起き、臨時下水改良課からも連座する職

員を出したことから、米元さん自身は何の関係もなかったのですが、大正十年に他の二人の課長とともに辞職を決断するに至ります。本人にとつては誠に不幸なことであつたと思われます。

東京市退職後の活躍

東京市を退職してからは、全国の多くの公共団体の顧問として上下水道事業を指導しています。和歌山、横浜、浜松、広島、足利、姫路、岩国、川崎、釜石などの上下水道事業の、また名古屋、東京・千住町、四日市、秋田、一宮、盛岡、宇部などの下水道事業の普及に貢献しています。特に名古屋では活性汚泥法の実験を草間さんとともに指導しています。

昭和三年、土木学会誌に「下水道吐口に於ける雨水排除用ポンプの排水量決定について」が掲載されます。同五年、土木学会誌の討議の欄に「下水管の雨水流量に関する簡易公式」が載ります。

昭和八年に土木学会の副会長に、十四年に衛生

工業協会会長に就任しています。この頃には浄化槽の分野も確立されつつあったのでしよう。戦争が激しくなった十九年には福山に疎開しています。そして、二十一年には水道協会の名誉会員に推されます。

戦後は、西原衛生工業所の顧問として亡くなるまで勤務し、民間サイドから上下水道のみならず、浄化槽の技術開発並びにその普及に大きく関わることになります。自宅から会社まで、ステッキをついて、背広の胸のポケットに白いハンカチーフを入れ、グリーン車で通われたダンディーな方であつたそうです。

昭和二十九年に土木学会名誉会員に推挙され、三十二年には水道協会誌に「下水道揺籃時代の思い出」を執筆しています。

晩年は鎌倉に居住し、永年の上下水道事業への大きな貢献に対して、昭和三十二年に保健文化賞を受賞し、さらに昭和三十七年には藍綬褒章に叙せられています。

昭和三十九年九月に逝去されました。

重要文化財「旧三河島污水処分場唧筒場施設」の概要

平成二十年に三河島污水処分場は、下水道施設としては全国で初めて重要文化財の指定を受けました。

指定された建造物等は、阻水扉室、沈砂池及び濾格室、濾格室上屋、量水器及び唧筒（ポンプ）室暗渠、唧筒室並びにそれらの建つ土地です。附指定は、土運車引揚装置用電動機室、変圧器冷却水井戸唧筒小屋、門衛所及びヴェンチュリーメーターです。

指定の理由は以下のとおりです。

「旧三河島污水処分場唧筒場施設は、隅田川中流に位置する旧下水処理場施設で、東京市区改正事業の一環として、東京市技師米元晋一を中心として建設が進められ、大正十一年三月に運用を開始した。本施設は、わが国最初の近代下水処理場である旧三河島污水処分場の代表的遺構として、高い歴史的価値が認められる。また、阻水扉室、

沈砂池などの一連の構造物が、旧態を保持しつつまとめに残る点も、近代下水処理場唧筒場施設の構成を知る上で重要である。」

なお当施設は、指定基準としての「歴史的価値の高いもの」に該当するものです。

それぞれの施設の概要を次に説明します。

阻水扉室は、保守点検等をする際に、唧筒場施設内に流入する下水を遮断するための構造物で、東・西二箇所があり、馬蹄形の流入渠に接続されています。

流入渠は、コンクリート造りの壁体によって区切られた東・西二箇所からなる沈砂池及び濾格室に接続しています。

沈砂池は長さ19・7 m、幅4・5 mの鉄筋コンクリート造りです。濾格室は沈砂池と一体的に造られており、長さ7・6 mの浮遊物を遮る鉄製濾格（スクリーン）を備えています。

濾格室上屋は、濾格によって遮られた浮遊物を除去する掻揚機を収容し、これ进行操作するための鉄筋コンクリート造りの建造物（桁行18・2 m、

梁間9・7 m）です。外観はスレート葺きの入母屋造りで、壁面には煉瓦タイルが貼られています。この建物の東側には掻き揚げられた浮遊物を運搬する土運車の出入りに使われる広い開口部が設けられています。

量水器室には、下水の流入水量を計測するための設備機器が収容されています。内部は鉄製の円形管（ヴェンチユリー管）及びその周りの人孔付の鉄筋コンクリートできています。そして、円形管の後には水槽が設置され、続いて唧筒室暗渠に接続されています。

唧筒室暗渠は、導水渠、阻水扉室、返水渠、唧筒井及び唧筒井接続暗渠で構成されています。

アーチ形の導水渠には陶板が敷かれ、阻水扉室に接続しています。阻水扉室を中心として南側4台、北側6台のポンプが2列に設置されています。

量水器室から唧筒井接続暗渠までは、全体で東西最大45・0 m、南北45・2 mの規模を有する「天」字形の鉄筋コンクリート造りの地下構造物です。

唧筒室は、桁行6.8・3 m、梁間1.5・5 mの鉄骨及び鉄筋コンクリート造りの寄棟造りの建築物です。但し、稼働当初は入母屋造りでした。昭和四十二年に寄棟造りに改築されています。当時、ヨーロッパで流行したセセツション（分離派）様式の特徴をよく表しています。南側に張り出す両翼を備えた左右対称形をなし、柱の上部に飾りはなく、水平の軒に連続する平面性と直線を重視し、縦長窓などを規則的に配して、両翼張出部正面には大型の欠円アーチ形窓を設置しています。壁の表面は、煉瓦積又は煉瓦タイル貼です。室内には天井走行型の起重機（クレーン）が当時のまま設置されています。両翼張出部には、事務室、変電室、蓄電室などがあり、日々の運転に必要な諸設備が配置されていました。

稼働当初の三河島污水処分場の下水処理

沈砂池で除去された沈砂や滓渣を入れた鍋ト口ツコをインクラインで地上まで上げ、場内に敷設

された軌道上を人力で押して、捨て場まで運びました。

ポンプは「のくち式単段横軸渦巻ポンプ」で、起動時には予め渦巻室内に真空ポンプで下水を吸引し水を満たす必要がありました。

沈殿池（第一沈殿地）は、コンクリート製の連続流式です。底部には横方向、縦方向にそれぞれ勾配がつけられた汚泥溜を設け、汚泥が溜まりやすい構造になっていました。掻寄せ機はなく、汚泥の除去は先ず、汚水の流入を遮断して上澄み汚水を返水管でポンプ井に排出します。汚泥の層が露出したら汚泥排出口を開いて引き抜き、ポンプにより汚泥槽に送ります。

沈殿池から散水濾床へ向かう配水溝に導かれた沈殿処理を受けた汚水は、散水機で濾床（幅1.5・2 mと3.0・6 mの2種類、長さ6.6・7 m、深さ1・8 m。濾床1対を1組として左右8組、計16組）に滴下され浄化されます。濾床は、粒径の異なる碎石が4段に敷き詰められていました。散水機は濾床の側壁又は中央支柱上に敷設され

たレールの上を往復走行する台車で支えられており、多数の散水用ノズルが取り付けられていました。

汚水が濾材間の空隙を流下する過程で、有機物は生物膜によつて捕捉され、その中に棲息している微生物によつて分解されます。汚水が濾材の間を流下する時間は短いのですが、一旦捕捉された有機物は、濾材の間に充満する空気から酸素が供給され、ゆつくりと好機的に分解されていくのです。

なお建設当初、この濾材をどのように調達するかについていろいろ議論されましたが、最終的には栃木県の足尾銅山で発生した鉍滓を使うことに決りました。田端駅と千住駅の間に臨時の荷降ろし場を設け、さらに三河島汚水処分場まで仮設の線路を引き、貨車で搬入しています。鉍滓に含まれる銅分が微生物に悪影響を及ぼすのではないかとの懸念もありましたが、その後の調査で影響はなかったと報告されています。また、後年、左合正雄先生がこの散水濾床について学術的な研究を

行い、「実に合理的な設計がなされている」と賛辞をおくっています。

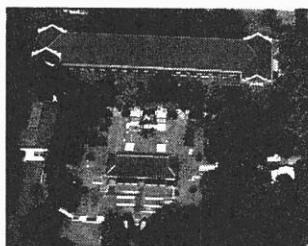
散水濾床からの流出水は、最後沈殿井（最終沈殿池）で固液分離されます。円形水槽（直径7・6 m）2池が対に設置されていました。池の中央部の底部の深さは、3・5 mありました。上澄水は放流口を経て、隅田川に排出されました。消毒設備はありましたが、コレラやチフスなどの伝染病が発生した時以外の平時には消毒は行っていない。

溜まった汚泥は、ポンプで2槽の汚泥槽（直径21・8 m）に送られ、数日間静置して濃縮した後、水頭差を利用して鉄管により運搬船に積み込みました。

濃縮汚泥は、東京湾に運ばれ海中に投棄処分されました。このための専用の棧橋が、隅田川に設置されていました。

参考・写真

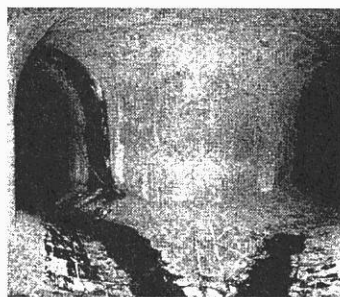
写真・1 旧三河島污水処分場唧筒場施設



写真・2 流入渠



写真・3 導水渠



写真・4 第一沈殿池の汚泥掻寄せ機

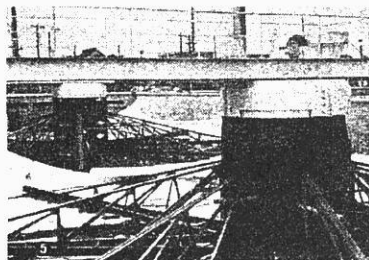


写真 5 散水濾床

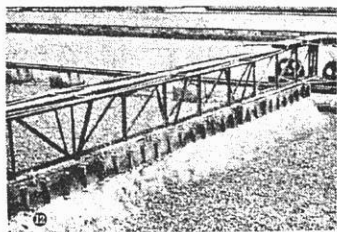


写真 6 最後沈殿井

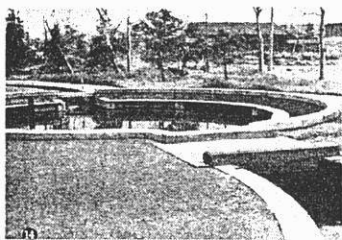
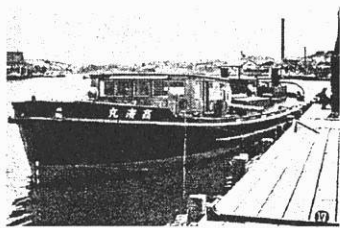


写真 7 汚泥投棄船



(平成二十二年二月二十一日)

※ 本文は、講話内容に加えて席上配布された資料並びに『近代下水道発祥の地』（東京都下水道局刊）を参照し再構成しました。なお、参考・写真は東京都下水道局のパンフレットならびに昭和十年代後半発行の雑誌から引用しました。