

20 尿尿処理法の研究——無加温尿尿消化効果の検討

北海道立衛生研究所 (所長 中村 豊)
環境衛生学科 小 山 良 悟

尿尿消化の原理は細菌並びに他の微生物による尿尿の腐敗分解であると解されるから、無加温尿尿消化は加温消化法に比して不良であると思われる。それにも拘らず、種々の事情で無加温消化槽が諸処に建設され、北海道にもこの種尿尿消化槽が既に設けられている。

このように、無加温槽も含めて尿尿消化槽は現在建設実施の段階にあるのではあるが、その実際の効果の究明は今後の調査研究を俟つ現況にあるわけで、北海道の如き寒冷地における実際規模の無加温槽尿尿消化の調査成績は、これら無加温槽効果を温度条件から考察する場合の一参考となると考える。

本報告の内容は以上の意図から北海道の某所に既設されている上記無加温尿尿消化槽を調査し、第1にその成績を清掃法尿尿消化槽の規定に基いて批判し、第2に実験室内尿尿消化実験によつて調査成績を検討したものである。

第 1 無加温尿尿消化槽調査

先ず調査の対象にした或る既設無加温消化槽の概要を述べる。

無加温消化槽施設の構造及び操作の概要

本施設は所謂2段消化法に基いたもので、第1消化槽と第2消化槽を主体としている。そのほかに消化槽で消化、沈澱、分離した上澄液(脱離液)を一時貯える脱離液貯溜槽、脱離液を所定にうすめる稀釈槽、稀釈された脱離液を更に生物化学的に浄化する散布濾床及び施設各槽間に尿尿を移動させる動力ポンプ室からなる。

施設は1日処理尿尿量3噸、3,000人分、消化日数90日として設計されている。

施設操作の概要は次の如くである。

新設当初の消化槽には、槽有効容積の20%容量の種汚泥—尿尿消化を促進させる熟成汚泥で、陳旧尿尿消化汚泥、或は下水汚泥等が使用される—が予め貯えられている。

このように準備した第1消化槽に毎日3噸の汲取尿尿を投入する。投入に際しては粗大な固形物を投入口の濾格子で除去する。

かくして約40日で第1消化槽が充満すると、第1消化槽と第2消化槽の隔壁上部に設けてある小堰によつて尿尿は第2消化槽に溢流する。

次に第2消化槽が充満するころ、即ち尿尿投入開始後90日目ころからは、第2消化槽の脱離液を毎日投入量の70%量だけ排除し、脱離液貯溜槽に管送する。

次いで稀釈槽内で約7倍の水でうすめ、これを散布濾床に管送し、散布濾床上に噴流し、濾床の濾材間隙を流下させる。これが最終処理水として放流されるのである。

このほかに消化を助長するために次の2操作を行う。

- 1 攪拌操作 第2消化槽底の熟成汚泥の所定量を1日2回第1消化槽底に管送しながら、第1消化槽底の汚泥と攪拌混和させる。
- 2 スカム破碎操作 消化槽尿尿液面上に浮上堆積して尿尿消化を妨害するスカムを破碎沈下させる操作である。スカムを破碎するためには脱離液貯溜槽の1部脱離液を返送し、スカム堆積面に1日数回数分間噴注するのである。

調査について

本調査は、昭和29年6月から同年11月までと31年12月から32年1月までの2度に行つたものである。その間9回試料を採取し、これを分析した。

採取試料は、第1消化槽と第2消化槽の脱離液並びに両槽底の消化汚泥及び放流水である。

試験項目並びに試験法は、水道協会協定の下水試験法に拠つた。

施設の維持、管理、運営等は、専属の管理者により設計者の指定に従い営まれている。

調査成績

脱離液及び消化汚泥の分析成績

表Iに管理者からの依頼試験で行つた分も収録して、2年間の分析値を示した。

表I 脱離液並びに消化汚泥の分析値

試料	脱離液						消化汚泥	
	4時間酸素吸収量 (ppm)		蛋白性窒素量 (ppm)		B. O. D 値 (ppm)		熱灼減量 (乾物中%)	
試験項目	1槽	2槽	1槽	2槽	1槽	2槽	1槽	2槽
試験年月日	試料採取個所							
29. 5. 22	—	—	—	—	—	—	67.4	< 71.4
29. 7. 11	—	—	—	—	—	—	50.9	> 57.3
29. 9. 17	1,578	—	360.0	—	4,254	—	67.2	> 64.8
29. 9. 18	—	1,895	—	416.0	—	5,370	56.5	> 36.5
29. 11. 22	—	—	258.3	< 271.2	3,818	> 3,315	59.0	> 57.0
31. 2. 7	—	—	304.7	> 298.3	—	—	—	59.2
31. 12. 14	1,893	> 1,518	296.4	> 452.6	1,839	< 3,836	—	59.9
31. 12. 24	1,849	> 1,642	227.1	> 156.1	4,338	> 1,198	—	63.5
32. 1. 7	2,227	> 1,502	603.6	> 574.8	2,513	> 645	—	58.8
平均値	1,887	> 1,639	391.7	> 361.5	3,352	> 2,873	61.8	> 58.8
清掃法の規準値	2,000	—	—	—	4,500	—	—	—

即ちこの表では、第1消化槽と第2消化槽から採取した試料について分析値の違いを比較し、又最下段に示した清掃法に規定してある数値を規準にして分析値を見て、消化槽の効果を判定したものである。

脱離液について 両消化槽の脱離液の分析値を通覧すると、不等式記号で示したように、各回試験の大部分において第2消化槽の分析値は第1消化槽より小さな値で検出されている。又清掃法に規定されている4時間酸素吸収量並びにB. O. Dの値を比較すると、両槽各回試験の分析値のうちで規準値より大きな値は唯1回検出されているだけである。従つて第2消化槽の脱離液の浄化度は恒常的に第1消化槽より良好であり、又両槽いずれも清掃法に適格な程度の浄化効果を収めているものと看做される。

消化汚泥について 脱離液の分析値と同様に消化汚泥の熱灼減量についても、第2消化槽の数値は第1消化槽より小さい。それ故、両槽の間に明かに消化度の差はみられる。然しながら、清掃法では消化汚泥の熱灼減量は50%以下であることを目標にしているので、本無加温槽90日消化の第2消化槽の消化汚泥もなお消化不十分なものと認められる。

加温槽との比較

厚生省が全国の尿尿消化槽について行つた調査成績のうち、加温10ヶ槽の脱離液及び同じく加温槽7ヶ槽の消化汚泥の分析成績は次のようである。即ち脱離液の4時間酸素吸収量は831~2,323 ppm、蛋白性窒素量53~1,901 ppm、B.O.D値890~7,480 ppm、消化汚泥の熱灼源量は52.4~74.4%である。即ち非常に大きな分析値の開きを示しているので、温度条件が同じでも検査尿尿の消化度に著しい差異が生じていることが分る。換言すれば、温度条件以外の他の原因が尿尿消化を大きく左右しているのである。

次に前記本消化槽の脱離液及び消化汚泥について行つた各回試験分析値の算術平均と、札幌市に設置の加温消化槽(30°C加温, 40日消化)及び逗子市の消化槽(30°C加温, 30日消化)の両槽約1年間12回の平均値とを示すと表Ⅱの如くである。

表Ⅱ 本消化槽と札幌市、逗子市加温消化槽の分析値の比較

槽種	分析項目	脱 離 液			消 化 汚 泥
		4時間酸素吸収量 (ppm)	蛋白性窒素量 (ppm)	B. O. D 値 (ppm)	熱 灼 減 量 (乾物中%)
本 槽 (無加温, 90日消化)		1,757	364	3,232	60.3
札 幌 市 (30°C 40日消化)		1,607	861	1,650	66.3
逗 子 (30°C 30日消化)		—	—	2,516	61.5

即ち本無加温槽と札幌市、逗子市の加温槽尿尿の分析値の開きは、上記厚生省調査の加温消化槽間に見られた分析値の開きに比して非常に小さくて、殆んど同効果をもつものと看做される。換言すれば、本無加温槽と札幌市、逗子市の加温槽の相違の一つである温度条件の違いを上表尿尿分析値の差異から明らかに推定することが出来ない。

以上から、実際規模の尿尿消化槽の尿尿消化における温度条件の影響は、その分析値から直ちに読みとり得る程大きく働いているものではないと思われる。

そこで著者は、研究室において条件を定めて消化実験を行つた。

第2 研究室内尿尿消化実験

以上は調査成績に基づいて既設無加温消化槽脱離液及び消化汚泥について検討し、一応前記の如き結論を得たが、この調査においては投入原尿尿の分析が行い得ないので、調査成績を原尿尿の分析値と比較して本槽の効果を明らかにすることが出来なかつた。又前篇では各地に設置されている実際規模の消化槽の消化データを掲示し、これについて比較検討し著者の比判を加え、そして実際規模の尿尿消化の効果を左右する原因は、学理的には加温消化が当然考えられるが、実測の結果から考察していくと、温度条件による尿尿消化の違を明示出来なかつたことを述べた。

よつて温度条件を究明せんとして、研究室内にて尿尿消化の実験的研究を試みた。

この実験では投入原尿尿の分析が可能である。又温度その他一定の条件下に消化を行わせしめ、その結果を知ることが出来る。

実験材料

実験に使用した尿尿は1家庭の便槽から採取したものである。使用に際してはよく攪拌し、新旧尿尿を混和し、粗大な夾雑物は取り除いた。

消化促進用の種汚泥は、本調査の消化槽の尿尿消化汚泥を更に実験室内に約2ヶ月放置消化を進めたものである。

実験方法

上記の2材料から次の3試料を作った。

- 1 尿尿単独のもの
- 2 尿尿に尿尿量の20%容量の種汚泥を添加したもの
- 3 汚泥単独のもの

以上の試料を各々2分して容器に収め、6ヶを準備した。

試料容器は2立の硝子瓶を用い、試料夫々1立を収めて密栓した。栓には尿尿消化中に発生するガスを導く導管並びに所定時に尿尿を取り出し、分析し得るための試料採取管を備えた。

温度条件は27°Cと外気温の2とした。外気温は実験期間中毎日午後1時の測定にて2~4°Cを示した日が大部分で、その間の最高、最低気温の日変動は-5°C~+10°Cの範囲であつた。

この温度条件の下に上記3試料1組を夫々放置し、54日消化させた。

所定日に1部試料を取り出し分析した。その分析項目は蒸発残渣、熱灼減量、B.O.D値、アンモニア性窒素及び遠藤赤変菌数である。発生ガス量は毎日測定した。

実験成績

I 熱灼減量

尿尿の消化は原尿尿の熱灼減量と消化尿尿の熱灼減量の差を以つて測られる。よつて■表に出発原尿尿と消化尿尿の乾物中熱灼減量と並びに最下段はは出発試料と54日消化試料の熱灼減量の差の百分率を示した。これらの数値から、温度条件に関して次のことが推定される。1 消化日数と消化程度及び3試料54日消化後の消化度の差異、2 種汚泥の消化促進剤としての効果、3 第1の調査対象となつた無加温消化槽の消化汚泥の安定度。

■表 尿尿消化実験成績 (消化日数54日)

(熱灼減量乾物中%)

消化日数	外 気 尿			27° C		
	尿尿単独	尿尿汚泥混合 (5:1)	汚泥単独	尿尿単独	尿尿汚泥混合 (5:1)	汚泥単独
出発試料	76.4	72.1	56.5	76.4	72.1	56.5
消化1週	72.8	—	55.5	—	65.8	53.9
消化2週	73.9	65.1	55.7	71.4	66.1	56.8
消化3週	72.8	69.5	57.5	70.7	64.1	57.4
消化8週	68.6	63.9	49.6	68.0	59.0	49.1
消化54日後の減少率	10.2	11.2	12.2	10.9	18.1	13.0

1 温度条件による熱灼減量の減少

研究室での消化 54 日後の各試料の消化度を消化前後の熱灼減量の差の百分率で示すと、表の最下段の数値のようになる。即ち 27°C 加温 54 日消化の試料は夫々対応する外気低温消化の 3 試料に比し少々大きい数値を示している。即ち加温消化の方が低温消化より良好な成績である。

併しながら、同表で第 3 週目までの各試料の熱灼減量を見ると、27°C 加温消化の尿尿単独試料を除いては、他のいずれの試料においても熱灼減量の若干は消化日数に伴って減少せず、反って増加しているような結果となつて現われている。このことの生じた原因について考えてみると、消化瓶内の尿尿に濃淡の異なる個所、従つて消化度の異なる個所が混在し、これが少量の検査試料に影響したものと考えられる。従つて 54 日消化の熱灼減量にも一応こうした採取試料に起因する誤差があるものと類推されるので、この値に基いて比較した上記の外気温と 27°C 加温消化の優劣の判定が曖昧なものと思われるわけである。しかし消化日数が多くなるにつれ尿尿の濃淡の度合が均一化されるから 54 日消化の熱灼減量は採取試料によつて誤差を生ずることが尠いと考えてよい。

つぎにこの実験値から本無加温槽の消化効果を検討するとつぎの如くである。本無加温槽内温度 13°C~18°C (調査期間の実測値) で、90 日消化後の尿尿の消化程度は第 2 消化槽汚泥の熱灼減量 58.8% (第 I 表) で示される。この値と 27°C 加温 54 日消化の実験尿尿汚泥混合試料 (本無加温槽の尿尿と種汚泥の混合比に同じく混合) の熱灼減量 59% とを比較すると、前者は後者より消化程度の良好な汚泥であることを示している。これは本無加温槽は低温ではあるがその消化日数が永いため生じた成績であり又投入原尿尿の性状にも関係するものと推定される。このことは次記の第 2 消化槽の消化度の検討で明らかである。

即ち第 2 消化槽の消化度は、第 1 消化槽と第 2 消化槽の汚泥の熱灼減量の差 (61.8~58.8) (第 I 表) の百分率 10.8% で示される。この数値は、実験の尿尿汚泥混合試料を外気温で消化した消化度 11.2% より稍悪い。換言すれば第 1 消化槽である程度消化した尿尿を第 2 消化槽で爾後消化 (40日間) が甚だ困難であること即ち消化出発原尿尿の性状が消化度を左右することを意味する。

以上熱灼減量からみた本無加温槽の消化効果は、消化日数並びに投入原尿尿の性状に左右されていることを知つた。温度条件のみについていえば、実験成績により加温消化が優るものであることは明らかである

2 尿尿消化に及ぼす種汚泥の効果

表 III の外気温消化における尿尿単独試料と尿尿汚泥混合試料の熱灼減量百分率を見ると、その差が小さいので無加温尿尿消化に汚泥を尿尿消化促進剤として使用することが一応疑問に思われる。

そこで仮に促進効果がないものとするれば、尿尿汚泥混合試料の有機物の減量は、尿尿と汚泥を夫々単独に消化した場合の各々の有機物減量の和として示される筈である。よつて表示の尿尿と汚泥夫々単独で消化した場合の消化度から、種汚泥に促進作用のないものとしてみた尿尿汚泥混合試料の消化度を算出すれば、 $\{(10.2 \times 5) + (12.2 \times 1)\} / 6 = 10.6$ となる。

然るに混合試料の実験値は 11.2% で 10.6 より大きいから、種汚泥は低温消化において尿尿消化に促進的に働いていることが分る。27°C 加温消化でも同様にして算出した値は 11.3% であるが、実験値は 18.1 であるから加温消化においては更に促進作用が強い。

以上低温 2~4°C においても種汚泥の促進効果が認められるから、本無加温槽（槽内温度 18°C ~13°C）の種汚泥使用は合理的なものである。

3 消化汚泥の安定度

使用した消化汚泥単独試料は、本無加温槽で 90 日消化を終え、更に実験室内に 2 ヶ月間放置しておいたものである。従つて相当安定化した汚泥と考える。

通常尿尿は所定条件で消化させると、その条件の下では分解が弱まり、遂に分解が停止し安定した状態となる。しかるに、この試料では、本無加温槽内より消化条件の悪い低温 2~4°C 消化においてもなお分解し、その熱灼減量の百分率が尿尿単独試料より大なる成績を示した。即ち未だ不安定な状態にあるといわなければならない。即ち本無加温槽の消化日数を 90 日以上にしなければ、汚泥の安定は得られないものとする。

II ガス発生量

熱灼減量は消化日数に比例して減少しない成績を屢々示すこと、そしてこれは、尿尿が水溶物と固形物の不均一な混合物であるから、良く攪拌しても尿尿全体を代表する試料採取が困難であるためにおこるものであることは前記した。これが又実験規模の尿尿消化の熱灼減量の百分率で消化を判定する際の困難についても前に述べた。

発生ガス量で消化を見る際には、この尿尿の不均一からおこる狂いを考慮することなく、尿尿全体の消化（ガス化）を測ることが出来る。表IVに発生ガス量を示した。

表IV 45 日消化における尿尿発生ガス量 (0°C 760 mm Hg 換算)

試料	尿尿 + 汚泥 (5:1)					汚泥 単 独				
	熱 灼 減 量			発 生 ガ ス 量		熱 灼 減 量			発 生 ガ ス 量	
	出 発 試 料 (1 立 中 瓦)	消 化 後 成 量 (1 立 中 瓦)	熱 灼 減 量 減 少 率 (%)	総 量 (cc)	cc/g	出 発 試 料 (1 立 中 瓦)	消 化 後 成 量 (1 立 中 瓦)	熱 灼 減 量 減 少 率 (%)	総 量 (cc)	cc/g
外 気 温	47.0	12.0	22.5	600	50	54.8	10.8	19.7	400	37
27°C	47.0	16.9	36.0	5,800	343	54.8	12.4	22.8	4,430	357

即ち表示した 2 試料は、いずれも発生ガス総量は低温消化より加温消化において良好である。

無加温槽においては、ガスを捕集していないのでガス発生量からその効果を検討することが出来ないが、低温消化では、ガス化が極めて不良であることは本実験から明らかである。

III B.O.D 値について

B.O.D 値は河川汚染の標示として重要視されている。B.O.D 値の高い尿尿処理水を河海に放流すると、河海の溶存酸素が消費されて危害を及ぼす。この点から尿尿消化処理においても B.O.D 値が問題になる。表Vに実験的尿尿消化の B.O.D 値を示した。

即ち 45 日後の B.O.D 除去率を見ると、尿尿単独試料においては低温消化が加温消化に優っているが、他の 2 試料においては加温消化がよい。

何故に尿尿単独試料のみ、低温消化の B.O.D 除去率が加温消化に比して良好であるかは不明であるが、他の 2 試料の B.O.D 除去率についてみると、低温消化は加温消化に比して劣る成績から、無加温槽の B.O.D 除去率は加温槽に較べて悪い成績を示すものと思われる。然し本無加温槽は

表V 尿尿消化実験における B.O.D 値 (ppm) (消化月数 54 日)

試料 消化日数	外 気 温			27° C 加 温		
	尿尿単独	尿尿汚 泥混 合	汚泥単独	尿尿単独	尿尿汚 泥混 合	汚泥単独
出 発 試 料	13,060	10,960	8,110	13,060	10,960	8,110
消 化 1 週	13,958	12,629	6,900	14,888	14,556	6,300
消 化 2 週	8,420	8,060	3,750	13,370	10,180	3,430
消 化 3 週	7,820	10,810	2,890	13,180	8,640	2,040
消 化 8 週	5,394	7,930	2,250	13,039	5,058	1,179
除 去 率 (%)	67.4	27.6	72.3	1.6	53.9	85.5

清掃法に規定の規準に達していることは前記の通りである。

IV 大腸菌群の消長

消化実験尿尿中の大腸菌群の消長を表VIに示した。

表VI 尿尿消化実験における大腸菌群 (M.P.N/g) (消化日数 45 日)

試料 消化日数	外 気 温			27° C 加 温		
	尿尿単独	尿尿汚 泥混 合	汚泥単独	尿尿単独	尿尿汚 泥混 合	汚泥単独
出 発 試 料	11×10 ⁸	46×10 ⁶	54×10 ⁵	11×10 ⁸	46×10 ⁶	54×10 ⁵
消 化 2 週 目 試 料	79×10 ⁵	49×10 ⁵	22×10 ⁴	33×10 ⁵	68×10 ⁴	13×10 ⁵
消 化 3 週 目 試 料	11×10 ⁵	49×10 ⁵	36×10 ³	49×10 ³	21×10 ³	13×10 ⁵
消 化 4 週 目 試 料	13×10 ⁸	95×10 ²	42×10 ²	79×13 ³	79×10 ³	35×10 ³

即ち外気低温及び 27° C 加温消化いずれにおいても 45 日消化で大腸菌群の減少を見ない。又無加温槽の消化汚泥、脱離液、放流水においても多数検出されている。(表VII参照)

表VII 無加温槽の大腸菌群及び蛔虫卵数

検査月日	放 流 水		脱 離 液		汚 泥	
	蛔虫卵 (10cc中)	大腸菌群 (M.P.N)	蛔虫卵 (10cc中)	大腸菌群 (M.P.N)	蛔虫卵 (10cc中)	大腸菌群 (M.P.N)
29. 6. 23	2~5	—	—	—	—	—
29. 8. 31	0	92×10 ³	—	—	—	—
29. 9. 17	0	—	140	95×10 ²	1,500	—
29. 9. 18	40	—	260	—	1,120	—
29. 11. 22	—	—	—	—	—	54×10 ⁵ /g

以上実験的尿尿消化の成績を記し、その成績から既設某無加温消化槽の効果を批判した。次に本無加温槽の放流水の分析成績を述べ本無加温槽の効果の検討を加える。

V 放流水について

前記の如く消化槽内脱離液は清掃法に適格な性状を示したが、放流水は清掃法の規準値に比して甚だ悪い成績を示している。(表VIII参照)

これは脱離液の事後処理である稀釈及び撒布濾床による処理に欠陥があるので、それについて検討する。

下水処理施設における妥当な濾床の B.O.D 負荷は平均 0.7 kg/m³/day である。

表Ⅶ 放流水調査成績

調査項目			4時間酸素吸収量 (ppm)	蛋白性窒素量 (ppm)	B. O. D
調査年月日					
29.	6.	16	—	24.5	2,402.0
29.	6.	16	—	23.4	2,140.0
29.	8.	10	136.7	38.4	925.0
29.	9.	17	296.0	53.8	539.0
29.	9.	18	394.0	64.0	705.0
29.	11.	22	—	152.2	915.5
31.	2.	11	—	97.3	—
31.	12.	7	241.0	198.8	163.0
31.	12.	17	297.0	127.7	191.0
32.	1.	7	482.0	402.4	214.0
清掃法の規準値			20.0	10.0	30.0

本無加温消化施設の濾床においては1日の脱離液量約3ton, 脱離液のB.O.D値は2,873ppm(表Iにて第2消化槽の脱離液B.O.D値の平均), 濾床容積22.5m³であるから, 濾床のB.O.D負荷は0.38kg/m³/dayである。しかも脱離液は7倍に稀釈されているので, 実際はこの値より小さい負荷である。しかるに本撒布濾床のB.O.D除去率は低い。今1例をとって本濾床のB.O.D除去率を窺うと次の如くである。

表Iの9月17日の脱離液のB.O.D値は4,254ppmである。

本施設操作の項に述べたことから, この脱離液を表Ⅶの9月17日の放流水(B.O.D値539ppm)で7倍に稀釈し, それを撒布濾床で処理したものが表Ⅶの9月18日の放流水(B.O.D値705ppm)であると看做し得る。

以上の数値から濾床のB.O.D除去率を算出すると, 約34%で所期に満ないことが分る。

清掃法によれば, 脱離液は200ppm程度に水で稀釈し撒布濾床で二次処理することに規定してある。本槽の放流水の不良な成績は, 以上によつて稀釈倍数の不足からくるものである。

結 語

以上, 著者は既設無加温槽について検し, 次の如く結論する。

- 1 著者の検した既設無加温槽は, 他の地に設けられている実際規模の加温槽に比し遜色のない脱離液を得る。そしてその脱離液の性状は清掃法に適格なものである。
- 2 この消化槽の放流水は甚だ不良である。その原因は脱離液の稀釈が不十分なことにある。
- 3 本槽の消化尿は安全化されていない。著者の実験的に行つた27°C加温45日消化でも安全化は出来ない。
- 4 消化効果を熱灼減量の百分率をもつて見ると, 著者の検した消化槽の消化効果は, 27°C加温54日消化の尿尿消化成績に該当する。
- 5 実際規模の消化槽の消化効果は, 温度条件以外の維持, 管理, 運営, その他の要因により大きく左右される。

文 献

- 1) 杉戸清：下水道学，昭和 28
- 2) 洞沢勇：水道協会誌，222 号 (1953)
- 3) 柴田三郎：産業廃水
- 4) 三浦運一：衛生工業協会誌，25 卷，12 号 (1954)
- 5) Edmund B. Besslicucr：Industrial Waste Treatment (1952)
- 6) Fair & Geyer：Water Supply and Waste-Water Disposal (1954)
- 7) 三浦大助：日本公衆衛生誌，4 卷，1 号 (1956)
- 8) 武藤暢夫外：神奈川年報，V (1955)