

## 逆浸透膜処理による給配水の軟水化と官能特性の改善

中村宗一郎\*・土海一美\*・平井順子\*\*・松浦 恵\*・辻由紀子\*

Soichiro NAKAMURA\*, Kazumi DOKAI\*, Junko HIRAI\*\*, Megumi MATSUURA\*, and Yukiko TSUJI\*  
Softening of Tap Water by Reverse Osmosis Filtration Resulting in the Improvement of the Sensory Quality

### ABSTRACT

Underground water has been used for living water source in Shimane University for 50 years since its establishment in the Nishi-kawatsu area. The building of the Faculty of Education in the University has become old, especially in the water service system. It has been easily assumed that the superannuated service main may have been the cause of deterioration of the water quality in the building. According to a preliminary examination, water quality of the tap water in the building indicated hard water property with extremely high conductivity of 715  $\mu$  S/cm. Thus, a reverse osmosis filtration system (produced by Shimane Denko Co. by using a reverse osmosis membrane, ESPA®ESPAFREE 75 model, Nitto Denko Co.) has been employed for softening the hyper hard water in this study. Based on the sensory evaluation it was concluded that the resulting soft water with low conductivity of 22  $\mu$  S/cm has good reputation.

[**Key words:** tap water, water service system, reverse osmosis filtration system, softening, sensory evaluation]

### はじめに

島根大学は、昭和24年に現在地の松江市西川津町1060番地に旧制松江高等学校、島根師範学校および島根青年師範学校を母体として、教育学部および文理学部からなる新制大学として発足した<sup>1)</sup>。また現在の教育学部実験研究棟は、昭和42年に左半分が、昭和43年に右半分が完成し、今日に至っている。西川津キャンパスでは、用水には主として地下水が用いられてきたが、最近、教育学部実験研究棟右側の3階に位置する調理実習室では、実習台から出る水（以下、給配水と表す。）に透明度の減少など明らかな水質汚濁の兆候が見られるようになった。予備実験的に給配水の電気伝導度を測定したところ、開栓当初には1000  $\mu$  S/cm以上の伝導度を示す超硬水であることが示された。そこで、家政教育研究室では、調理への悪影響もさることながら実習生の健康への影響を懸念して、昨年、逆浸透膜装置を導入し、給配水の水質の改善を諮った。

こうして本研究では、これまで調理実習室で使用していた給配水と逆浸透膜装置によって処理した水の水質を比較すると共に両者の官能特性の相違について調べたので報告する。

### 試料と方法

#### 2.1. 試料

本研究では、2001年7月13日、教育学部実験研究棟3階の調理実習室において、調理台に配管された水道管から直接採水を行い、給配水として実験に供した。なお、採水は、30分間通水後に行った。

一方、逆浸透膜処理水は、島根電工株式会社（松江市東本町5-46-2）によって製作された家庭用逆浸透膜処理水製造装置の試作品（逆浸透膜: ESPA®ESPAFREE 75 model, Nitto Denko Co.）を用いて、給配水を処理することによって製造した。

\*島根大学教育学部家政教育研究室

\*\*介護老人保健施設もちだの郷（松江市）

## 2. 2. 水質分析

### 2.2.1. 水温、pHおよび電気伝導度の測定

水温、pHおよび電気伝導度は、上水試験方法の記載<sup>2)</sup>に準じて測定した。すなわち、水温は、採取した試料に直ちにガラス製棒状温度計を差し込んで測定した。pHは、ガラス電極式水素イオン濃度計（HORIBA製 F-8DP型）を用いて、採取した試料に直ちにガラス電極を差し込んで測定した。また電気伝導度は、カスターナーACT導電率メーター（HORIBA製 ES-12型）を用いて、採取した試料に直ちに電極セルをつけて測定した。

### 2. 2. 2. 硬度の測定

硬度の測定は、キレート滴定法<sup>3)</sup>によって行った。すなわち、検水100mLをとり、アンモニア塩化アンモニウム緩衝液（pH 10.7）2 mL、5% KCN 5滴およびEBT試薬（エリオクロムブラックTを0.3gとり、塩酸ヒドロキシアミン2gにメタノールを加えて溶かし50mLとしたもの）5滴を加えて0.01MのEDTAで赤色が青紫色に変わるまで、滴定し、炭酸カルシウム濃度（mg/L）に換算し、その値を硬度として表した。

### 2. 2. 3. 化学的酸素要求量（COD）の測定

化学的酸素要求量（COD）は、JIS K 0102に基づいて、100 mLにおける過マンガン酸カリウムによる酸素消費量の測定<sup>4)</sup>によって求めた。すなわち、検水に純水を加えて100mLとし、硝酸銀溶液（0.2g/mL）5 mLと希硫酸（1+2）10mLとを加え、続いて5 mM過マンガン酸カリウム溶液10mLを加えて沸騰水中で30分間加熱した。熱いうちに12.5mMしゅう酸ナトリウム溶液10mLを加え、さらに60°Cに保温しながら、3 mM過マンガン酸カリウム溶液で滴定し、過マンガン酸カリウム消費量（mg O/L）を算出した。

### 2. 2. 4. 細菌試験

細菌試験として、一般細菌数と大腸菌群数の測定を行った。菌数の測定は、JIS K 0102<sup>4)</sup>に基づいて行った。すなわち、一般細菌数は標準寒天培地（ペプトン5g、酵母エキス2.5g、グルコース1g、寒天15g、水1L、pH 7.0）を大腸菌群数はデオキシコール酸塩寒天培地（ペプトン10g、ラクトース10g、塩化ナトリウム5g、クエン酸アンモニウム2g、リン酸二水素カリウム2g、デオキシコール酸ナトリウム1g、ニュートラルレッド33mg、寒天15g、水1L、pH 7.4）を用いて、検液と混釈後、37°Cで24時間培養後、出現したコロニー数をカウントし、それぞれの菌数を算出した。

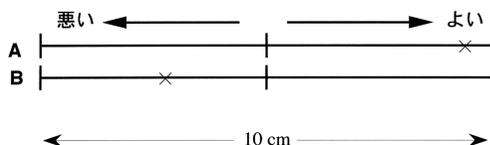


図1 官能検査の際に用いた線尺度の一例

中央部分の垂線を基準に、各自固有の尺度で両者を比較し、適当と思われる位置に×印をつけてもらうよう、パネルーにお願いした。回収後、左端からの距離（cm）を測定し、データとした。

表1 給配水および逆浸透膜処理水の基本的な水質

水質項目	給配水	逆浸透膜処理水
水温（℃）	25	25
pH	7.8	6.3
電気伝導度（ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）	715	22
硬度（mg/L）	132	1.2
COD（mg/L）	3.0	ND*
一般細菌数（CFU/mL）	ND	11
大腸菌群数（CFU/mL）	ND	ND

\*Not Detected

### 2. 2. 5. その他の水質項目の測定

その他の水質項目については、理化学株式会社（大阪市北区南森1丁目4番10号）および財団法人島根県環境保健公社（松江市古志原一丁目4番6号）に水質分析を委託して行った。

### 2. 2. 6. 官能検査

官能検査には、19から22歳の健康な女性20人をパネルーとして用いた。まず、室温（25℃）の状態では、AとBとだけ印をつけた検水を自由に飲んでもらい、味、匂い、色の点でどちらをより好ましいとするかの回答を求めた。次に、食品ラボにおける官能評価法の一つである線尺度法<sup>5)</sup>を利用して、室温（25℃）のものとお湯の状態のものについての官能検査を行った。お湯の状態には、室温の検水を1分間に10%の割合で60°Cまでに昇温させ、直ちにそれを検水として用いた。得られたデータは、統計処理<sup>6)</sup>を行った。図1に実験に用いた官能検査用紙を示した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1. 給配水および逆浸透膜処理水の理化学的および微生物学的水質評価

表1に検水の水温、pH、電気伝導度、硬度、COD、一般細菌数および大腸菌群数を示した。これらの項目は、著者らが今回、研究室で独自に分析したものである。水温については、給配水および逆浸透膜処理水ともに25°Cを示し、変化は見られなかったが、pHは、給配水では7.8であったのに対し、逆浸透膜処理水では6.3となった。

表2 わが国の水質基準<sup>a</sup>ならびに給配水および逆浸透膜処理水の水質検査結果

水 質 項 目	基 準 値	測 定 値	
		給配水	逆浸透膜処理水
1. 一般細菌 <sup>b</sup>	100個/mL以下	未検出 <sup>c</sup>	11
2. 大腸菌群 <sup>b</sup>	検出されないこと	未検出	未検出
3. カドミウム	0.01mg/L以下	0.001以下	0.001 以下
4. 水銀	0.0005mg/L以下	0.00005以下	0.00005以下
5. セレン	0.01mg/L以下	0.001以下	0.001以下
6. 鉛	0.05mg/L以下	0.005以下	0.005以下
7. ヒ素	0.01mg/L以下	0.001以下	0.001以下
8. 六価クロム	0.05mg/L以下	0.005以下	0.005以下
9. シアン	0.01mg/L以下	- <sup>d</sup>	-
10. 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10mg/L以下	0.24	0.05以下
11. フッ素	0.8mg/L以下	0.10	0.10
12. 四塩化炭素	0.002mg/L以下	-	-
13. 1,2 - ジクロロエタン	0.004mg/L以下	-	-
14. 1,1 - ジクロロエチレン	0.02mg/L以下	-	-
15. ジクロロメタン	0.02mg/L以下	-	-
16. シス - 1,2 - ジクロロエチレン	0.04mg/L以下	-	-
17. テトラクロロエチレン	0.01mg/L以下	-	-
18. 1,1,2 - トリクロロエタン	0.006mg/L以下	-	-
19. トリクロロエチレン	0.03mg/L以下	-	-
20. ベンゼン	0.01mg/L以下	-	-
21. クロロホルム	0.06mg/L以下	-	-
22. ジプロモクロロメタン	0.1mg/L以下	-	-
23. プロモジクロロメタン	0.03mg/L以下	-	-
24. プロモホルム	0.09mg/L以下	-	-
25. 総トリハロメタン	0.1mg/L以下	-	-
26. 1,3 - ジクロロプロペン	0.002mg/L以下	-	-
27. シマジン	0.003mg/L以下	-	-
28. チウラム	0.006mg/L以下	-	-
29. チオベンカルブ	0.02mg/L以下	-	-
30. 亜鉛	1.0mg/L以下	0.274	0.005以下
31. 鉄	0.3mg/L以下	0.074	0.009
32. 銅	1.0mg/L以下	0.01以下	0.01以下
33. ナトリウム	200mg/L以下	94	4.3
34. マンガン	0.05mg/L以下	0.009	0.001
35. 塩素イオン	200mg/L以下	92	3.7
36. カルシウム・マグネシウム等(硬度) <sup>b</sup>	300mg/L以下	132	1.2
37. 蒸発残留物	500mg/L以下	-	-
38. 陰イオン界面活性剤	0.2mg/L以下	-	-
39. 1,1,1 - トリクロロエタン	0.3mg/L以下	-	-
40. フェノール類	0.005mg/L以下	-	-
41. 有機物等(過マンガン酸カリウム消費量) <sup>b</sup>	10mg/l以下	3.0	0.1以下
42. pH値 <sup>b</sup>	5.8 ~ 8.6	7.8	6.3
43. 臭気	異常でないこと	あり <sup>e</sup>	なし <sup>e</sup>
44. 味	異常でないこと	あり <sup>e</sup>	なし <sup>e</sup>
45. 色度	5度以下	0.5	0.5以下
46. 濁度	2度以下	0.15	0.04

<sup>a</sup>厚生省令第69号；<sup>b</sup>本学での分析値；<sup>c</sup>Not Detected(検出限界以下)；<sup>d</sup>測定せず；<sup>e</sup>官能検査による。

このことは、後で述べるように金属イオンの除去に関係していると考えられる。電気伝導度も大きく変化し、逆浸透膜処理前には  $715 \mu\text{S}/\text{cm}$  を示していた伝導度は、処理後には  $22 \mu\text{S}/\text{cm}$  となった。あわせて、硬度も給配水の  $132\text{mg}/\text{L}$  から逆浸透膜処理水の  $1.2\text{mg}/\text{L}$  へと大きな減少が見られた。WHOの飲料水水質ガイドラインによると、 $60\text{mg}/\text{L}$ 以下を軟水、 $120 \text{mg}/\text{L}$ 以上を硬水としている。この基準に基づくと、給配水は硬水に分類される。また、わが国の水道原水の75%は、硬度 $50\text{mg}/\text{L}$ が大半であるとされている<sup>8)</sup>ことからみても、本学教育学部棟の調理実習室への給配水の硬度はかなり高いことが明らかにされた。一方、細菌学的には、逆浸透膜処理はあまり好ましくない結果をもたらした。すなわち、給配水中では未検出 (ND) であった一般細菌が、逆浸透膜処理水中からは  $11\text{CFU}/\text{mL}$  検出されたことである。これは、逆浸透膜層上にトラップされた細菌が繁殖した結果であると考えられる。この数値は、水道水および一般飲料水の水質基準 (厚生省令69号、表2) をクリアしており、大腸菌群は、検出されなかったことから衛生的な問題は考えられないが、逆浸透膜処理の大きな欠点にもなりかねない要素を含んでいる。平成13年の6月および7月は、月別平均気温がそれぞれ $21.6$  および  $26.6$  と高く (松江地方気象台、松江市西津田7-1-11)、このような時期の逆浸透膜処理の取り扱いには十分な配慮が要求される。

表2に水道水および一般飲料水の健康に関連する46項目とそれぞれの水質基準値、ならびに今回の水質検査結果をまとめて示した。有機溶媒、農薬および環境ホルモンに関連する項目およびシアン、蒸発残留物については水質調査を行わなかった。今回測定した項目については、すべての検査項目において給配水の水質は、厚生省令69号に定める水道水および一般飲料水の健康に関連する水質基準値以内であった。逆浸透膜処理水についても同様に基準値を満足しており、特に逆浸透膜処理によって効果的な軟水化が達成されていることが示された。

逆浸透膜処理による水質変化を具体的に示すと、亜硝酸性窒素および硝酸性窒素は、給配水では  $0.24\text{mg}/\text{L}$  であったのに対し、逆浸透膜処理水では  $0.05\text{mg}/\text{L}$  以下となり、著しい処理効果が認められた。また、金属濃度も逆浸透膜処理によって劇的な減少が見られた。給配水中において、亜鉛は  $0.274\text{mg}/\text{L}$ 、鉄は  $0.074\text{mg}/\text{L}$ 、ナトリウムは  $94\text{mg}/\text{L}$ 、マンガンは  $0.009\text{mg}/\text{L}$  であったが、逆浸透膜処理水中ではそれぞれ  $0.005 \text{mg}/\text{L}$  以下、 $0.009 \text{mg}/\text{L}$ 、 $4.3\text{mg}/\text{L}$ 、 $0.001\text{mg}/\text{L}$  となり、 $87.8\%$ から $98.2\%$ のものが除去されていることが明らかになった。カドミ

表3 給配水および逆浸透膜処理水に対する基礎的な官能検査結果

評価項目	飲み比べてどちらの水を好ましいと思うか		
	給配水	逆浸透膜処理水	どちらとも言えない
味	3 (15%)	13 (65%)	4 (20%)
匂い	2 (10%)	5 (25%)	13 (65%)
色	5 (25%)	9 (45%)	6 (30%)

ウム、セレン、鉛、ヒ素、六価クロムといった重金属は、もともと給配水中での存在量が、いずれも検出限界以下と低く、逆浸透膜による処理効果をみるのが出来なかった。一方、塩素イオンの処理効果が顕著に現れた。給配水中では  $92\text{mg}/\text{L}$  であったが、逆浸透膜処理水中では  $4.3\text{mg}/\text{L}$  以下となった。塩素イオンの除去は水をおいしくするという視点では重要であるが、逆浸透膜処理水を一度にたくさん調製し、溜め置いた場合の雑菌汚染防止という面からは問題が残ろう。前述したように、逆浸透膜処理水から  $11 \text{CFU}/\text{mL}$  の一般細菌が検出されたこととも関連して今後の検討課題である。

### 3.2. 給配水および逆浸透膜処理水の飲み比べによる評価

まず、20人のパネラーへ給配水と逆浸透膜処理水とを飲み比べてもらい、味、匂い、色の3点においてどちらを良いとするかについての官能検査を行った。その結果を、表3に示す。味については、半数以上の13人 (65%) が逆浸透膜処理水の方を好ましいと判定した。しかし、匂いと色については逆浸透膜処理水の方を良いとした数は半数に満たなかった。ただ、給配水の方が逆浸透膜処理水より、好ましいとしたパネラー数はごく少数であった。全体的に、どちらとも言えないと答えたパネラーが多く見られた。すなわち、両者の差が微妙であることを示し、両者に有意な差異があるのか否かの判定には至らなかった。

### 3.3. 線尺度法による評価

上述したように、飲み比べによる評価では給配水と逆浸透膜処理水とがどれだけ官能的に違うのかを示すに至らなかった。そこで、図1に示した線尺度法による官能検査を実施し、好ましさの度合いを数値化することを試みた。パネラーは、評価の際に中央部分の垂線を基準に各自の尺度で両者を比較し、適当と思われる位置に×印をお願いした。官能検査用紙は回収後、左端から×印までの距離 (cm) を測定し、好ましさの度合いとした。

図2に室温 (25 )での官能検査の結果を、図3には

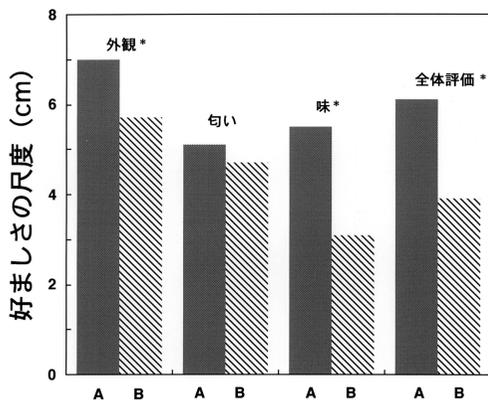


図2 室温(25 )での好ましさの比較

A, 逆浸透膜処理水; B, 給配水。\*印は, AとBの平均値に有意差 ( $p < 0.05$ )があることを示す。

お湯の状態(60 )での官能検査の結果をそれぞれグラフにして示す。室温では, 外観については, 逆浸透膜処理水の評価は,  $7.0 \pm 2.1$ cm (平均値  $\pm$  標準誤差,  $n=20$ ; 以下, この表示は略す。)であったのに対し, 給配水の場合は,  $5.7 \pm 1.6$ cmとなり, 両者には分散分析の結果, 有意差 ( $p < 0.05$ )があることが明らかになった。味および総合評価においても, それぞれの評価値は, 逆浸透膜処理水の方が給配水より高い値を示した。味の場合, 逆浸透膜処理水の $5.5 \pm 1.4$ cmに対し, 給配水の $3.1 \pm 2.2$ cm, 総合評価の場合, 逆浸透膜処理水の $6.1 \pm 1.6$ cmに対し, 給配水の $3.9 \pm 1.7$ cmとなった。しかし, 匂いに関しては, 逆浸透膜処理水の $5.1 \pm 1.0$ cmに対し, 給配水は $4.7 \pm 0.7$ cmとなり, 室温では両者に有意差 ( $p < 0.05$ )は生じなかった(図2)。

一方, 図3に示すように, お湯の状態にして逆浸透膜処理水と給配水との好ましさを比較すると総合評価を含むすべての項目において, 逆浸透膜処理水の方が給配水に比べ, 有意に ( $p < 0.05$ )好ましいという結果になった。外観については, 逆浸透膜処理水の $7.7 \pm 1.8$ cmに対し, 給配水の $3.3 \pm 1.4$ cm, 匂いについては, 逆浸透膜処理水の $5.7 \pm 1.5$ cmに対し, 給配水の $4.7 \pm 1.6$ cm, 味については, 逆浸透膜処理水の $5.5 \pm 1.7$ cmに対し, 給配水の $3.7 \pm 1.9$ cm, 総合評価の場合, 逆浸透膜処理水の $6.5 \pm 1.5$ cmに対し, 給配水の $3.8 \pm 1.8$ cmとなった。また, 逆浸透膜処理水の好ましさは線尺度の中央値(5 cm)よりはるかに大きな数値を示し, 給配水との比較においてすぐれているだけでなく, 相対的評価の高い事が示された。

### 3. 4. 総合的な水質評価と今後の研究課題

以上のように, 本研究によって, 逆浸透膜処理によっ

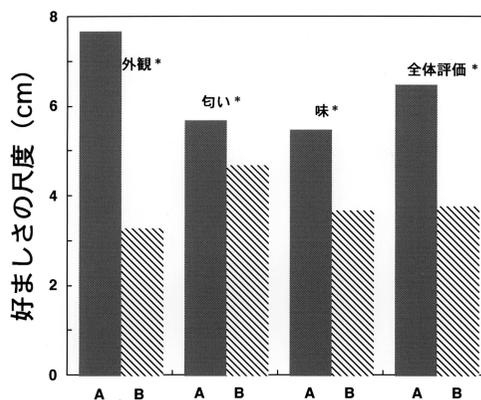


図3 お湯の状態(60 )での好ましさの比較

A, 逆浸透膜処理水; B, 給配水。\*印は, AとBの平均値に有意差 ( $p < 0.05$ )があることを示す。

て給配水の一般的水質ならびに官能特性が改善されることが明らかになった。給配水の理化学的および微生物学的水質は, 厚生省令69号に定める水道水および一般飲料水の健康に関連する水質基準値を満足しているとはいえ, おいしさの面では, 改善の余地があることが示された。線尺度法を用いて各種の官能特性の評価を行った結果, 逆浸透膜処理水は給配水に比べ明らかに好ましい状態にあることが明らかにされた。また, その好ましさは, お湯の状態にするとより明確になることが示された。

今回の研究では, 水そのものについての逆浸透膜処理効果について調べたが, 今後は, 逆浸透膜処理水を用いて調理した場合の調理効果についても調べたい。本学の給配水のような硬水を調理に用いた場合, 煮炊き効果として期待される組織の軟化やふくらみを抑制し, 酵素作用の効果を阻害することなどが考えられる。

逆浸透膜処理水の問題としては, 逆浸透膜層上にトラップされた細菌が繁殖し, 処理水中へ混入する可能性が生じることである。雑菌混入防止対策は, 今後, 逆浸透膜処理水を安心して利用する際の解決すべき大きな課題となった。

### ・まとめ

本研究では, 島根大学教育学部実験研究棟右側の3階に位置する調理実習室からの給配水とその給配水を逆浸透膜によって処理した逆浸透膜処理水との水質と官能特性の変化についての実験を行った。その結果, 以下のようなことが明らかにされた。

(1) 家庭用逆浸透膜処理水製造装置の試作品(逆浸透膜: ESPA<sup>®</sup> ESPAFREE 75model, Nitto Denko Co.)を用いて, 給配水を処理した結果, 明らかな軟水化が示さ

れ、硬度は、132mg/L から1.2mg/L へと大きな減少が見られた。また、電気伝導度も715  $\mu$ S/cmから22  $\mu$ S/cmとなった。

(2) 給配水および逆浸透膜処理水のいずれについても厚生省令69号に定める水道水および一般飲料水の健康に関連する水質基準値を満足していたが、給配水中では未検出(ND)であった一般細菌が、逆浸透膜処理水中からは11CFU/mL 検出された。

(3) 従来の問診式の評価法で給配水と逆浸透膜処理水との比較をした結果、味については、半数以上の13人(65%)が逆浸透膜処理水の方を好ましいと判定した。しかし、匂いと色については逆浸透膜処理水の方を良いとした数は半数に満たなかった。

(4) 線尺度法を用いて、両者を比較した結果、室温(25 )では、匂いについては有意差が出なかったが、外観、味および総合評価において逆浸透膜処理水の方が、給配水より好ましいことが明らかにされた。

(5) お湯の状態(60 )にして逆浸透膜処理水と給配水との好ましさを比較すると総合評価を含むすべての項目において、逆浸透膜処理水の方が給配水に比べ、有意に( $p < 0.05$ )好ましいことが示された。

## 謝 辞

本稿を終えるにあたり、家庭用逆浸透膜処理水製造装

置の試作品を無償でご供与頂きました島根電工株式会社に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) 島根大学ホームページ：<http://www.shimane-u.ac.jp/>
- 2) 厚生省生活衛生局水道環境部監修；上水試験方法1993年版，pp. 62-63， pp. 80-82， pp. 88-90，財団法人日本水道協会，東京（1993）
- 3) 分析化学研究会：定量分析 - 改訂版 - ，pp. 148-150，廣川書店，東京（1997）
- 4) 日本規格協会：JISハンドブック 環境測定，pp. 998-1000，財団法人日本規格協会，東京（1995）
- 5) 日本規格協会：JISハンドブック 環境測定，pp. 1175-1177，財団法人日本規格協会，東京（1995）
- 6) Poste, L.M., Mackie, D.A., Butler, G., Larmond, E.: Laboratory methods for sensory analysis of Food, Part 3 [相島鐵郎（訳）食品ラボにおける官能評価（3）]，日本食品科学工学会誌，pp. 453-459，（2001）
- 7) 田中恒男：新・統計のまとめ方．つかい方，pp. 61-101，医歯薬出版，東京（1976）
- 8) 厚生省生活衛生局水道環境部監修；上水試験方法1993年版，p. 178，財団法人日本水道協会，東京（1993）