

報 告

次亜塩素酸ナトリウムおよび
殺菌灯の殺菌効果に関する研究

—— 次亜塩素酸ナトリウムの濃度および殺菌灯の最適条件を探る ——

青木 武生¹⁾, 金谷 悦子²⁾

1) 群馬県立県民健康科学大学 診療放射線学部

2) 群馬県立県民健康科学大学 看護学部

病棟や介護施設の器具やベッド、ガウンなどの殺菌には、次亜塩素酸ナトリウム（以下 SH）や殺菌灯などが利用されてきた。SH が文献に示されている希釈率で本当に細菌等が殺菌されているのか、また、希釈後の劣化の進捗について示された研究は少ない。我々は、市販の SH をそれぞれの目的のためには、どの程度希釈すればよいのか、その希釈液の劣化の程度、殺菌灯の到達距離について、著者 1 名の鼻粘膜常在菌と、市販大腸菌を用いて検証した。SH（原液 5% 程度）は、殺菌には 0.02～0.5%（250 倍～10 倍希釈）が適当とされているが、実際には 100 倍希釈でも細菌が増えている場合があること、塩素濃度は下がっていないのに、かなり劣化している場合があることが判明した。殺菌灯は、近距離では 30 秒で十分であること、天井に設置した場合には、床面のサンプルに対し、1 時間程度の照射で効果があることがわかった。次亜塩素水の劣化についてもコメントする。

キーワード：常在菌, 大腸菌 DH α , 殺菌効果, 次亜塩素酸ナトリウム, 殺菌灯, 次亜塩素水

緒 言

病棟や介護施設の器具やベッド、ガウンなどの除菌、殺菌には、アルコール製剤や低濃度のアルコール製剤と塩化ベンザルコニウムの混液のほかに、次亜塩素酸ナトリウムや^{1,2)}、殺菌灯も利用されてきた³⁻⁸⁾。次亜塩素酸ナトリウムの適正濃度については、一般的に、医療器具の消毒では 0.02%、便や吐物が付着した床やおむつの消毒では 25～50 倍希釈（0.1～0.2%）、衣服や器具などのつけ置き、トイレの便座やドアノブ、手すり、床等では 80～250 倍希釈（0.02～0.06%）とされている^{1,2)}。しかし、この希釈率も、文献によってばらつきがある。本当に細菌等が殺菌されているのか、また、希釈後の劣化の進捗について示された研究は少ない³⁾。これは、1) もともと市販の次亜塩素酸ナト

リウムの濃度が明確ではないこと、2) 購入した時の濃度がわからないこと、3) 購入後どの程度の期間使用可能であることがわからないことに起因する。

このように、市販の次亜塩素酸ナトリウムは、どの程度希釈すればよいのか、あるいは、その希釈液の劣化はどの程度おきるのか、また殺菌灯の効果はどの程度の距離まで効果があるのかについて明らかにされていない。そのため、この種の薬品では実際の塩素濃度を測定し、それと比較しながら使用することが適当であると思われる。そこで、我々は著者の一人の鼻粘膜常在菌と、市販されている大腸菌（DH α E. coli : DH5 α Competent Cells, タカラバイオ）を用いて検証することとした。

鼻粘膜常在菌には、数種類の細菌や真菌が混在

していると考えられることや、濃度が管理できないことから、データのばらつきが大きいことが問題点としてあげられる⁹⁾。また、綿棒でぬぐい取ったサンプルを希釈することで一定のばらつきを抑制できると考えられるが、その濃度が不明確であるという欠点がある。そこで、今回、予め一定の濃度に管理した次亜塩素酸ナトリウムを用いてその殺菌効果および劣化現象を検証する実験を行うことにした。特定の細菌を選抜し一定の濃度で培養しておくことでばらつきが抑制できるが、その細菌の選定の適切性については論議のあるところである。今回の実験では、濃度管理が容易で、サンプルの吸光度を測定することである程度濃度が予測可能であること、同じ時に作製したプレートではデータにばらつきがほとんど無いというメリットが知られている市販の大腸菌を用いる。

殺菌灯は、パナソニック GL-15 (殺菌効果のある 253nm をピークとする波長をもつ、UV-C に相当)を用いた^{10,11)}。この殺菌灯の照射については、以前から、無菌条件が必要な安全キャビネットや、プリコーションガウンの殺菌に利用されており、その効果は距離の関数に比例することがわかっている⁵⁻⁸⁾。また、近距離では数秒 (もちろん菌の種類にもよる) で殺菌されていることが知られている¹⁰⁾。その直進性と UV による人体への障害や対照物の劣化の問題¹²⁻¹⁴⁾はあるが、その効果は確かであると考えられる。そこで、殺菌灯を天井に設置した場合でも、その距離に応じた効果があるのかを、同様の細菌で検証する。さらに、市販されている噴射式容器に封入されている次亜塩素素水の劣化についても、同様に検証する。

方 法

実験には、アズノールシャーレ JP φ90 × 15mm ND90-15, 材質: PS (ポリスチレン) を使用した。筆者 1 名の鼻粘膜常在菌を用いた場合に

は、SCD 寒天培地 (和光純薬 SCD 培地「ダイゴ」396-00175) を、分子生物学で用いられるプラスミドを形質転換させるために市販されている大腸菌 (*E. coli* DH5α Competent Cells, タカラバイオ) の場合には、X-GAL 寒天培地 (日水製薬, 05631 顆粒) を用いて検証した。細菌の希釈には、サンセイの 0.1% ペプトン緩衝液を用いて、増殖用の LB 培養液 (Difco™ LB Broth Lennox, BD 240230) の原液から × 500,000 倍希釈したものを無菌的に作製した寒天培地プレート上に 100 μl 流し込み、スプレッダーで播種し、クリーンベンチで乾燥させ、各種検証に用いた。

次亜塩素酸ナトリウムは pH7~6 付近では HClO として、アルカリ溶液として市販されている。また、pH7 以上では ClO⁻イオンとして存在する。正確な ClO⁻イオンの量はガスクロマトグラフィーや滴定法、HClO は電流法で計測できる^{15,16)}。通常は簡便法として、HClO および ClO⁻イオンの量を有効塩素として表示する。なお一般的に残留塩素と有効塩素は同義語として使用されている。有効塩素とは、 $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + (\text{O})$ の式であらわされるように、亜塩素酸ナトリウム (NaClO) の分解によって遊離する酸素を対応する塩素量として表示するが、通常ヨウ化カリウムで吸収し、その変化を、でんぷん溶液を指示薬としてチオ硫酸ナトリウムで滴定して求め、対応する塩素量を計算した数字で表示する¹⁷⁻²⁰⁾。一般的には、DPD (N,N-Diethylphenylene-diamine) 法、ヨウ化カリウムを含む試薬を含む用紙で発色させて色の変化を見る方法²¹⁾ (比色法、共立理化学研究所: 次亜塩素酸試験紙 WAP-CIO (C)) や、同様の発色を吸光光度計で読み取る方法 (ジアチェッカー)、毛管現象を利用した使い捨ての吸引反応管を利用するなど、さまざまな簡便な方法が利用されている。

それぞれの方法は感度がかかなり異なるので、今回は以前の論文²²⁻²⁴⁾ で使用歴のあるハンナ・イン

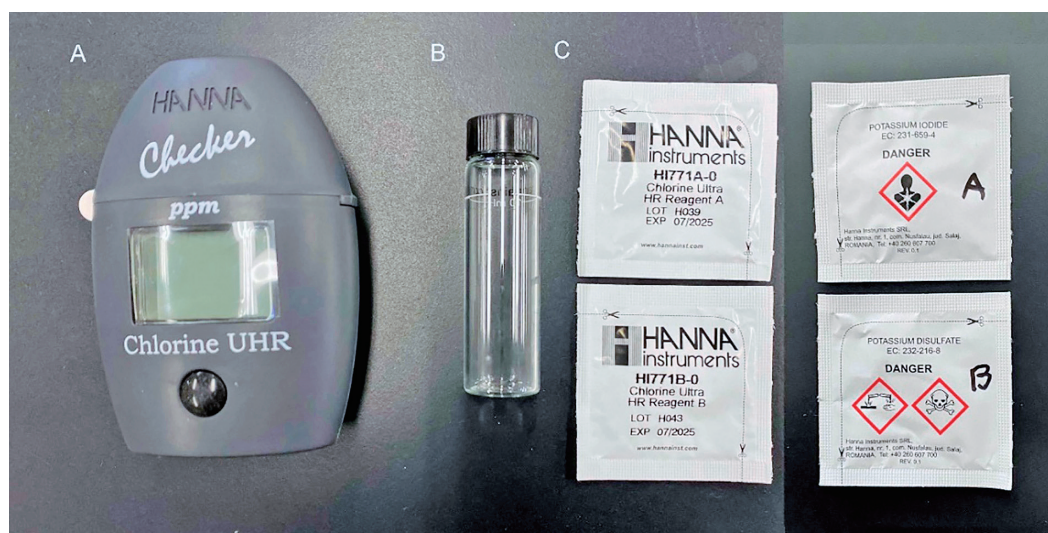


図 1

- A: 塩素濃度測定器 ジアチェッカー HI771
 B: 測定キュベット
 C: 塩素濃度測定反応試薬, HI771A-0: ヨウ化カリウム, HI771B-0: 二硫酸カリウム

スツルメンツ・ジャパンの、HI771 ジアチェッカー (0~500ppm) (ヨウ化カリウム試薬による吸光度法: 2種類の反応試薬を利用) (図1) を用いて測定した。細菌を塗布したプレートには、表1にしめすように50倍、100倍、200倍、500倍に希釈した次亜塩素酸ナトリウムで10分程度反応させた後に除去し、恒温器 (36℃) で24時間培養したプレートに出現するコロニー数で殺菌の効果を判定した。図2で示すように次亜塩素酸試験紙における色調の変化でよみとれるように、その有効塩素濃度は、ジアチェッカーと同様であったことから、今回の方法はある程度信頼性があると考えた。なお、次亜塩素酸水の有効塩素濃度とその劣化に関する論文は見あたらないが、次亜塩素酸ナトリウムの場合と同様と考え測定を行った。

殺菌灯には、パナソニック GL-15,15W (殺菌効果のある253.5nmをピークとする波長をもつ、UV-Cに相当) を用いた。殺菌灯と細菌を塗布したプレートとの距離は23cm (クリーンベンチ内)、120cm, 220cm, 280cm (天井と床との距離) を用いた。プレートを作製したシャーレのポリスチ

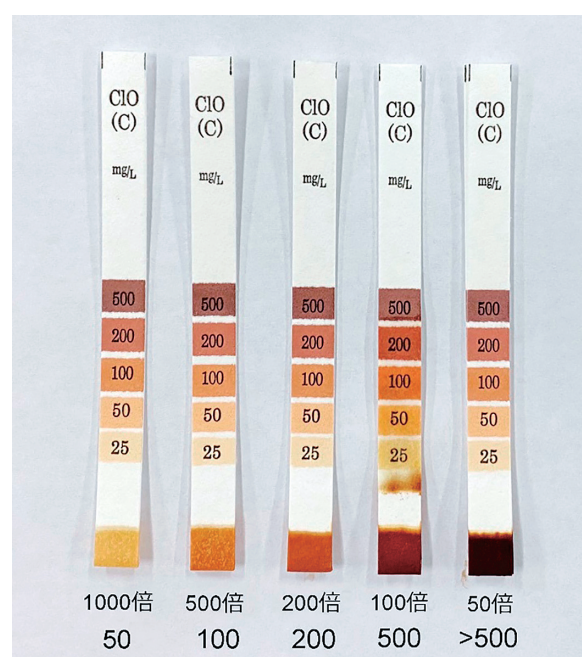


図2 共立理化学研究所の次亜塩素酸試験紙 WAP-CIO (C) の色の変化を用いて示した次亜塩素酸ナトリウムの希釈濃度

レン容器は、用いた殺菌灯の波長のピーク付近では、透過性がほとんど見られないことから¹³⁾、紫外線の遮蔽物として用いた。

なお、すべての培地、溶液、マイクロピペットのチップ等は、オートクレイブで滅菌しておいたもの、あるいは購入時殺菌されている使い捨ての

ものを用いた.

結 果

大腸菌のコロニー数を指標にした希釈した次亜塩素酸ナトリウム水溶液の効果の検証

我々は、次亜塩素酸ナトリウムの濃度に応じてコロニーがどの程度形成されるのかを確認することでその殺菌力を検証した. その方法として、プラスミドを導入するために市販されている、タカラバイオの大腸菌 DH α competent cell (X-GAL 寒天培地に出現するコロニー数で検討)を利用した. また、次亜塩素酸ナトリウムの劣化と塩素濃度との関係を調べた (表 1).

表 1 次亜塩素酸ナトリウムの濃度と X-GAL 寒天培地上的の DH α コロニー数の関係

市販品原液に対する希釈倍率 下段は塩素濃度	コロニー数	対照を 100 とした時の指数	減少率
DH α 対照群	241 \pm 2.4 個 (n=3)	100	
33 倍希釈 次亜塩素酸ナトリウム	0 個 (n=3)	0	100%
50 倍希釈	0 - 1 個 (n=3)	0	100%
50 倍希釈 1W 後	1.8 \pm 2.5 個 (n=6)	0.6	99.4%
100 倍希釈 > 500ppm	28.0 \pm 16.8 個 (n=3)	11.6	88.3%
100 倍希釈 1W 後 500ppm	136.0 \pm 39.2 個 (n=6)	55.9	44.1%
200 倍希釈 219ppm	98.0 \pm 14.1 個 (n=3)	40.3	59.6%
200 倍希釈 1W 後 180ppm	193.0 \pm 23.8 個 (n=9)	79.4	20.5%
500 倍希釈 96ppm	177.7 \pm 14.6 個 (n=6)	72.8	27.1%
500 倍希釈 1W 後 44ppm	203.3 \pm 41.5 個 (n=3)	84.3	14.6%

次亜塩素酸ナトリウムの濃度に応じて大腸菌のコロニーが形成され、濃度の高い 33 倍希釈、50 倍希釈、100 倍希釈では 88%以上の細菌の増殖が抑制された. しかし 200 倍希釈では細菌の増殖抑制の効果は 59.6%と非常に限定的であった (表 1). もちろん、気温や反応時間も加味すると結果は異

なってくるはずであるが、この実験の結果 (一定時間蛍光灯が点灯されている部屋、26 $^{\circ}$ C以下の室温) では、室温 200 倍希釈の場合には、10分以上 (文献 1 は可能ならば 30 分) 浸漬しておくべきであり、100 倍希釈であれば、ほぼ細菌が存在しても増殖をほぼ抑制できると考えられた (表 1).

次亜塩素酸ナトリウムの劣化と塩素濃度との関係を検証してみた結果では、室温に 1 週間放置しておいた場合でも、26 $^{\circ}$ C室温の場合でも、抗菌効果の劣化がすすんでいることがわかった. その劣化は 50 倍希釈、100 倍希釈でも起こっており、50 倍希釈の場合、調整当日の使用では、コロニー数は 0 であったものが、1 週間後の次亜塩素酸ナトリウムの希釈液では、30 個程度出現した. また 100 倍希釈のものでは、28 個程度であったものが、140 個程度に増えており、(塩素測定装置の上限を超えている可能性はありつつも) 塩素濃度で示された数値とは関係なく、殺菌力が落ちていることが判明した (表 1). このことから次亜塩素酸ナトリウムの希釈液は薄めたその日に使用するべきであるという結論に達した.

大腸菌コロニー数を指標にした次亜塩素水劣化の検証

劣化ということでは、以前我々が検討した論文では、密封用で市販されている次亜塩素水での結果についても、劣化がおこることが想定された⁹⁾. そこで大腸菌 DH α を用いて X-GAL 寒天培地に出現するコロニー数で検討を行った.

4 つの商品を購入し、購入当初から 7 か月後までの、XGAL 上における DH α competent cell のコロニー数で検討した. その結果、7 か月の間に、商品によって差はありつつも、その効果は非常にばらつきがあった (表 2). 例えば、次亜塩素水 1 の場合には、少なくとも 1.6 倍 (37.2%から 58.8%) のコロニー数の増加であったが、次亜塩

素水 4 の場合には、20 倍以上（2.1%から 45.5%）の増加があった（表 2）。

表 2 X-GAL 寒天培地上に現れた DHαコロニーの数で見られる次亜塩素水劣化の経過および塩素濃度の変化

次亜塩素水	3月4日	6月29日	8月24日	10月27日
次亜塩素水 1	61ppm	32ppm	21ppm	17ppm
	37.2%	32.4%	44.0%	58.8%
次亜塩素水 2	68ppm	43ppm	42ppm	32ppm
	14.9%	16.9%	17.6%	48.8%
次亜塩素水 3	46ppm	34ppm	33ppm	32ppm
	8.6%	16.6%	94.1%	50.0%
次亜塩素水 4	107ppm	74ppm	53ppm	42ppm
	2.1%	19.6%	39.4%	45.5%

* 上段は、ジアチェッカーによる塩素濃度（ppm）を示す。

* 下段は、対照を 100 とした時のコロニー数の割合（%）を示す。

塩素濃度でみると、次亜塩素水 4 の 107ppm から 42ppm のように、その数値が 40%減少しているものもある一方で、次亜塩素水 1 のように 28%程度の減少でおさまっているものがあることが判明した。表 1 の次亜塩素酸ナトリウムの実験における 200 倍希釈において希釈当日で塩素濃度 219ppm であったものが、一週間後塩素濃度 180ppm に低下した時、コロニー数は 40.3 から 79.4 に増加した。この例で示されるように塩素濃度の 18%程度の減少がコロニー数では 2 倍程度になっているという現象がある。また、今回の実験においても表 2 で示されているように、次亜塩素酸水 1 では 61ppm から 32ppm に 48%減少している場合でも、コロニー数は 37.2 から 32.4 にまで減少しており（減少率では 62.7 から 67.6 まで増加）矛盾した結果も見られた（表 2）。これらのデータでみるように、塩素濃度が殺菌力を必ずしも示していないという事実はありつつも、原則的には開封したら時間経過とともに劣化する可能性が高い。また、次亜塩素水 2 と次亜塩素水 3 は同じ商品でありながら、塩素濃度が異なることから、市販されている次亜塩素水の劣化は密閉された状態でも、常におこっている可能性があること

が判明した。

鼻粘膜常在菌と大腸菌のコロニー数を指標にした殺菌灯の効果の検証

殺菌灯は、その直進性と透過力の低さ、人体に対する侵襲性、材質によっては劣化がみられることから、以前から限定的に使用されてきた¹¹⁾。今回、我々は、殺菌ボックスやクリーンベンチ、安全キャビネットなどのような近距離から照射される場合はもちろんであるが、天井に設置された殺菌灯でも、同様な効果あるのか検証した。実験には筆者の 1 人の鼻粘膜常在菌および、大腸菌 DHα competent cell を用いた（表 3）。

なお、筆者 1 名の鼻粘膜に常在する細菌は、株式会社バックスにて遺伝子解析の結果、大腸菌群 *Klebsiella aerogenes* や *Bacillus spp.* (*Bacillus zhangzhouensis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus australimaris*, *Bacillus safensis*) を含むことが判明している。

SCD 寒天培地上に現れる鼻粘膜常在菌コロニー数で判断すると、クリーンベンチ内では 1 分程度の照射でほとんどの細菌は、ほぼコロニーが現れず、その増殖力を失っていると思われた（表 4）。またシャーレの蓋を用いて遮蔽すると、その効果はかなり低下することがわかった。天井からの距離に応じて 3 つの段階（120cm, 220cm, 280cm）を設定し、その場所にプレートを置いていろいろな長さで殺菌灯を照射した。その結果、120cm, 220cm では 20 分、280cm（天井から床までの距離）では、60 分で、細菌の増殖をほぼ抑えることができることが判明した（表 3）。

同様の実験を、大腸菌 DHα competent cell と X-GAL 寒天培地で行ったところ、クリーンベンチ内では 30 秒以内、120cm と 220cm では 20 分程度で、280cm では 30 分でコロニーの数は 0 となった（表 4）。この結果はいろいろな細菌の混在した鼻粘膜常在菌と比較して、大腸菌の方が紫

表3 殺菌灯照射時間と SCD 寒天培地上の常在菌コロニー数の関係

照射時間 \ 照射距離	23cm	120cm	220cm	280cm
照射時間				
照射距離				
対照 380 ± 199.8 個 n=12				
1分照射時のコロニー数	0.3 ± 0.5 個 (n=3)			
2分	0.6 ± 0.5 個 (n=5)			
5分	0.3 ± 0.5 個 (n=7)			
UV 遮蔽 5分	86.7 ± 27.2 個 (n=3) 23%			
10分		3.5 ± 3.2 個 (n=4)	40.8 ± 33.8 個 (n=5)	78.1 ± 51.3 個 (n=9)
20分		1.6 ± 1.4 個 (n=5)	3.3 ± 2.1 個 (n=6)	9.0 ± 6.4 個 (n=4)
UV 遮蔽 20分		123.0 ± 25.5 個 (n=3) 32%		
UV 遮蔽 40分				23.7 ± 0.5 個 (n=3)
60分				2.0 ± 1.0 個 (n=4)

* 殺菌灯は、253nm に紫外線ピークを持つパナソニック GL-15 を用いた

* 筆者鼻粘膜常在菌を SCD 寒天培地に播種して 24 時間後に現れたコロニー数で示す。

* 照射距離は、殺菌灯からプレートまでの距離を示す。

* 遮蔽はディッシュの蓋（ポリスチレン製）で行った。

表4 殺菌灯照射時間と X-GAL 寒天培地上の大腸菌コロニー数の関係

照射時間 \ 照射距離	23cm	120cm	220cm	280cm
照射時間				
照射距離				
対照 445.7 ± 50.8 個 n = 3				
30秒照射時のコロニー数	0 個 (n=3)			
1分	0 個 (n=3)			
2分	0 個 (n=3)			
5分	0 個 (n=3)	18.7 ± 11.8 個 (n=3)	67.3 ± 1.7 個 (n=3)	180.3 ± 49.4 個 (n=3)
10分		2.7 ± 2.5 個 (n=3)	9.0 ± 0.8 個 (n=3)	38.0 ± 7.0 個 (n=3)
20分		0 個 (n=3)	3.3 ± 2.5 個 (n=3)	12.3 ± 1.7 個 (n=3)
30分				0 個 (n=3)

* タカラバイオ DHα株、大腸菌を X-GAL 寒天培地に播種して 24 時間後に現れたコロニー数で示す。

* 照射距離は、殺菌灯からプレートまでの距離を示す。

外線に対して弱い可能性が示唆された。また、これらの実験の結果から、細菌によって、紫外線に対する抵抗力に違いがみられる可能性があることから、実験では、想定されるいくつかの細菌を複数準備して行った方が良く、細菌を塗布する培地によって差が起きる可能性があると考えられ

た。なお、この比較実験によって、X-GAL 寒天培地では、30分照射でコロニー数が0になるのに対して、SCD 寒天培地の場合必ずしも細菌数が0にならないのは同培地の場合、鼻粘膜常在菌の他に空気中の細菌やカビ由来の真菌も増殖できる培地であることから、照射時間が長くなると落

下細菌やカビが培地に混入し増殖したために、コロニー数が0にならないと考えた。

考 察

微生物の抗菌スペクトラムにとらわれない薬品として利用されている次亜塩素酸ナトリウムの殺菌効果について^{2,13)}、今回の実証実験では、筆者の1人の鼻粘膜常在菌と、市販されているタカラバイオの大腸菌 DHα competent cell を用いて、次亜塩素酸ナトリウムの希釈濃度として設定されるものは根拠のある数字であるのか、また、一度作成した液は保存できるのかについて各培地で出現するコロニー数を基準に判断し検証した。検証した細菌の種類が少数であることや、処理時間をさまざまな条件で検討していないこと、実験件数が少ないという欠点がありつつも、次のような、一定の結果は得られた。1) 医療器具の殺菌に用いられるように100倍希釈では10分では時間が短く少数の細菌が残り増殖したことから、文献1に記されているように、30分処理というのは根拠のある数字（まだ検証はしていないが）と考えられる。2) 50倍希釈より濃い溶液では、安定的にコロニーの出現を抑えることができた（表1）。このことから文部科学省、通産省等が指導している100倍希釈という濃度は、本実験に用いた次亜塩素酸ナトリウム溶液の原液自体が、購入時において正しい濃度であることが確認できないことや、購入後、保存状態により経時的に劣化していた可能性は否定できないが、やや薄い可能性があると考えられる。しかし、この溶液は揮発性があり、塩素ガスを発生すること、濃い溶液は皮膚を溶かす作用があり¹⁾、部屋の十分な換気が必要であることや、手袋やゴーグルがあった方が良いという制約があるが、家庭では安全に使用できることから、26℃以上にならない換気された室温・遮光保存の条件であれば100倍の適当が判断したと考え

られる（なお、遮光冷所保存であればより希釈した液でも効果が持続すると考えられる）。ただし、今回の次亜塩素酸ナトリウム希釈液の保存条件においても、溶液が想定されるよりも、経時的に劣化分解している可能性はあるが、溶液の劣化についてはより長い期間の実験の必要性はありつつも、1週間ですでに劣化が進んでいることが判明した（表2）。以前の報告書では、遮光して冷所で保存すると劣化が少ないという記述があるので³⁾、今後この点についても検討する余地がある。この点からいえば、今回の結果における次亜塩素酸ナトリウム希釈液の劣化は、現在行っている予備実験の結果から、短期的には、一部カーテンで遮っているとはいえ、窓から差し込んだ光、あるいは蛍光灯の光による劣化の可能性が高く、温度の影響は少ない可能性が高いと考えられる。さらに希釈後4週間後の100倍希釈次亜塩素酸ナトリウムでは、5～10分程度の処理時間では、コロニー数に変化は無いが、13分では激減したことという予備実験の結果から、次亜塩素酸ナトリウムの殺菌力は、ある時間の時点で突然惹起される可能性があり、処理時間はかなりセンシティブである可能性がある。この点についても、詳細に検討する必要がある。これらの点を含め、劣化と温度条件、遮光条件、処理時間については今回考慮していないので、今後この点について、詳細な研究する必要がある。

以前の我々の報告に示したように装置で作製して、そのままかけ流しで使用する次亜塩素水とは異なり、密封してあるとはいえ、市販の次亜塩素水には、その効果に関して問題がある事を指摘したが⁹⁾、開封した後の劣化の程度についても今回検証を行ってみた。一度開封した後劣化することはありうると言え、その劣化の速度は著しく、開封して5か月で濃度は半減した商品も存在した。また同じ商品でも開封した時点で塩素濃度が異なっていた例もあり、店頭ですでに、劣化が進ん

でいることが容易に想像できた（表3,次亜塩素水2と次亜塩素水3）。ある例については塩素濃度と出現するコロニー数との相関がみられない例もあり、今後も検討が必要と考えられる。

劣化に関しては、以前の報告において、そのスピードが冷所遮光によってある程度押さえることができるという結果が得られているが³⁾、この報告では塩素濃度の変化のみで、実際の細菌に対しての実験は行っていない。今回塩素濃度とコロニー数の変化は必ずしも一致しないことが判明したので、いくつかの既知の細菌、遮光と温度についても考慮した上での実験を行い、さらに検討を行う必要がある。その際、細菌に関しては、病床や介護施設で頻繁にみられるような細菌で実験を必要あるが、当校は病原に関してレベル2までは実験可能であるが、それ以上の実験はできないので、レベル3の実験のできる他の研究者の協力を仰ぐ必要があると考える。

紫外線による殺菌効果は以前から論文があり、いくつかの利点があることが指摘されている。その一つは短時間で効果があること⁹⁾、殺菌灯の方向を乱反射できる反射鏡を利用すれば、直進性も克服できる可能性があることである。しかし、紫外線は遮蔽物があると、それを透過できる能力が劣っていること、目や皮膚に対する侵襲性があることが指摘されている^{12,13)}。今回の検証では、すでに数か月使用している殺菌灯を用いていること、クリーンベンチ内では、二本の殺菌灯を用いていることを考慮して、実験結果を検討した。このような視点で考えると、クリーンベンチ内で30秒～1分の照射の結果、大腸菌がほぼすべて殺菌された可能性の高いこと、複数の細菌が混在した鼻粘膜常在菌の場合、ほぼコロニー数が0になるためには2分程度かかることが示された。これらの結果は、アズワンのアカデミー・サイトの結果と一致した²⁶⁾。天井灯として殺菌灯を用いた部屋の場合には、床にあるものには、280cmと距離

があるが、鼻粘膜常在菌では60分、大腸菌 DHα では30分で、出現するコロニー数はほぼ0となった。このことから、細菌の種類によって時間が異なってくることも判明した。パナソニックの殺菌灯の解説書¹¹⁾には、「殺菌灯の効果は殺菌線を菌に照射した場合、生存菌数は照射時間に応じて指数関数的に減少し」「殺菌効果は、殺菌線照度 $E(W/m^2)$ と照射時間 $t(秒)$ の積[殺菌線量 (J/m^2)] で決まり」、細菌の残存生菌率 = 殺菌線の照射後の残存生菌数 / 殺菌線の照射前の菌数 = 10^{-Et} : 殺菌効果 / D : 殺菌の種類によって決まる「90%殺菌率」の殺菌線量 (J/m^2) となり、殺菌率 P は $1 - 10^{-Et/D}$ となることが示されている。このような物理学的な数式で示されるのであれば、紫外線照度計を購入して、その法則が我々の実験と一致するのか、検証する必要がある。そのためには、今後理化学研究所、バイオリソース研究センターの微生物材料開発室から3種程度の既知の細菌をとりよせ、比較検討をする予定である。

結 論

次亜塩素酸ナトリウムおよび殺菌灯の殺菌効果を、ヒト鼻粘膜常在菌と既知の市販大腸菌を用いて（濃度管理が行いやすいためデータのばらつきが最小限に抑えられるとメリットがある）、寒天培地上に現れるコロニー数で評価し検証した。市販の次亜塩素酸ナトリウムは5%程度であることが知られているので、厚生労働省、通産省のパンフレットにある0.05%相当で使用するという記述に根拠があるのかについて、およびその殺菌効果の劣化現象について検証した。以前我々が検討した次亜塩素水についても、その塩素濃度と殺菌効果の劣化現象についてもデータをとり検討した。細菌に対する殺菌灯の効果が距離と照射時間に関して検証を行った。

実験の結果、表1の大腸菌 DHαの結果に示す

ように、次亜塩素酸ナトリウムの殺菌効果は100倍希釈でも88%程度のコロニー形成を抑制できたが、50倍希釈の液の方が完全であり、塩素濃度の低下と殺菌効果の劣化（1週間）もほとんど無いことがわかった。また、塩素濃度は結果を一定は反映するが、必ずしも一致しないことも分かった。次亜塩素酸ナトリウムの殺菌効果の劣化は1週間程度でかなり起こっていることがコロニー数に現れていた。結果より、希釈に関しては50倍希釈程度が妥当であること、塩素濃度の低下と殺菌効果の劣化が進行するので保存はしない方がよいこと、50倍希釈の液は少なくとも1週間程度は殺菌効果が保存されていたことが判明した。

次亜塩素水の塩素濃度の低下と殺菌効果の劣化についても塩素濃度とコロニー数で検討した結果、同じ商品でも塩素濃度に差が著しいこと、殺菌効果の劣化が顕著に表れているものなど様々であり、5か月の保存では、塩素濃度も半減しているものもあった。コロニー数ではこの結果を強調するものであった。

殺菌灯の効果は両者の細菌に対し、クリーンベンチ内では30秒～1分で殺菌効果があること、鼻粘膜常在菌と大腸菌で効果に差があること、殺菌灯が天井に設置されている場合でも、用いた細菌では30分～60分程度でほとんどコロニーが現れない状態まで殺菌されていることがわかった。

文 献

- 1) 辻 明良 (2004): 医療現場における次亜塩素酸ナトリウムの特性と有用性: 「花王ハイジーンソリューション」 No.7 2004年7月号: 15-17 https://www.kao.co.jp/pro/hospital/pdf/07/07_04.pdf
- 2) 新見明子 (2007): 感染予防の対策 C 消毒法, 深井喜代子 (編集), 基礎看護学 基 11 礎看護
- 技術 I 第 2 編 第 4 章, 255-260, メヂカルフレンド社, 東京
- 3) 田中裕有, 弦巻恭太, 渡邊 修ほか: 嘔吐等の緊急時に備えた次亜塩素酸ナトリウム溶液の調整使用方法の検討 (糸魚川地域振興局健康福祉部, 新発田食肉衛生検査センター) <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/132225.pdf>
- 4) 田辺直紀 (2014): 次亜塩素酸ナトリウム溶液の消毒効果と変化, 日本大学歯学部紀要, 42: 17-24
- 5) 川名林治, 前川裕子 (1983): 紫外線殺菌装置の各種細菌およびウイルスに対する殺菌効果に関する研究, 医科器械学 53(6): 302-307
- 6) 森本美智子, 田辺文憲 (2005): プリコーションガウンの裏側に透過した MRSA に対するアルコール噴霧および紫外線照射による殺菌効果, 山梨大学看護学会誌, 3(2): 21-26.
- 7) 河崎陽一, 横山紀子, 松香直行ほか (1998): MRSA 感染患者のケアに着用した予防衣の細菌汚染度と紫外線による殺菌効果, 看護研究 31(3): 73-80
- 9) 青木武生 (2021): 皮膚, 鼻粘膜に常在する細菌を利用した市販除菌商品の効果に関連する基礎研究, 群馬県立県民健康科学大学紀要, 16: 109-122
- 10) アズワン アカデミー・コーナー 殺菌灯による殺菌 殺菌灯の殺菌効果 <https://www.as-1.co.jp/academy/11/11-2.html>
- 11) パナソニック 殺菌灯解説書 <https://www2.panasonic.biz/ls/lighting/plam/knowledge/pdf/0320.pdf>
- 12) 紫外線殺菌装置による目の障害 厚生労働省 職場の安全サイト No.852 https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/sai_det.aspx?joho_no=852
- 13) UV 殺菌装置に関するご注意 https://www.jlma.or.jp/siryō/pdf/pamph/notice_UV_Sakkin

- 200817.pdf
- 14) プラスチック材質判別装置及び方法 <http://www.ekouhou.net/> プラスチック材質判別装置及び方法 /disp-A,2008-292300.html
- 15) 林 徹也 (2012): 塩素酸イオン, 亜塩素酸イオン, 次亜塩素酸イオンの定量, 長野県工技センター研報, 7: 32-35 https://www.gitc.pref.nagano.lg.jp/reports/pdf/H24/02Seimitsu/H24P08_32-35.pdf
- 16) 李 卉, 野々村誠, 伊藤紀子 (2003): イオンクロマトグラフィーによる水中の残留塩素と他の陰イオンとの同時定量, BUNSEKI KAGAKU 52(9): 819-824
- 17) 福崎智司 (2010): 次亜塩素酸ナトリウムを用いた洗浄・殺菌操作の理論と実際, 調理食品と技術 16(1): 1-14
- 18) 中村伸吾, 鑿原征宏, 福田孝一ほか (2017): 細菌・ウイルス等微生物に対する次亜塩素酸水の効果とその活用, 防医大誌 42(1): 8-14
- 19) 株式会社エイアンドティー HP 6. いまさら、でも大切な『次亜塩素酸ナトリウム』について https://www.aandt.co.jp/jpn/medical/tree/vol_6/
- 20) 株式会社タクミナ HP
12-3. 次亜塩素酸ナトリウムについて <https://www.tacmina.co.jp/library/coretech/279/>
12-4. 次亜塩素酸ナトリウムによる殺菌 <https://www.tacmina.co.jp/library/coretech/280/>
- 21) 多賀允俊, 薄田大輔, 野田洋子ほか (2016): 比色法を用いた次亜塩素酸ナトリウム浸漬液塩素濃度測定の有用性と濃度変化に影響する因子, 日本環境感染学会誌 31(5): 314-318
- 22) 辻本雄次, 山本敦史, 張野宏也ほか (2009): 北野雅昭専用水道浄化処理における塩素酸濃度, 大阪市立環科研報告 平成 20 年度 第 71 集, 41-47 https://www.city.osaka.lg.jp/kenko/cmsfiles/contents/0000059/59491/r2008_41-47.pdf
- 23) 小林義正, 小林寛伊, 梶浦 工ほか (2015): 次亜塩素酸ナトリウム含浸環境清拭クロスの残留塩素濃度に関する検討, 医療関連感染, 8(1): 17-26
- 24) 中村亜美, 小野理沙子, 須田佳孝ほか: DPD 法による残留塩素測定時の異常発色についての検討, 財団法人 群馬県環境検査事業団 <http://www2.gol.com/users/g-kankyau/pdf/zenjyouH23.pdf>
- 25) 健栄製薬 各種消毒薬の特徴 図 1. 微生物の消毒薬抵抗性の強さ, および消毒薬の抗菌スペクトル <https://www.kenei-pharm.com/medical/countermeasure/feature/01.php>
- 26) 「Lab BRAINS」アズワン アカデミー・コーナー 紫外線による殺菌—殺菌灯の殺菌効果 <https://lab-brains.as-1.co.jp/document/academy/2021/07/1477/>

The Bactericidal Effect of Sodium Hypochlorite and Germicidal Lamps

— A Study of the Optimal Concentration of sodium Hypochlorite
and of Conditions for Germicidal Lamps —

Takeo Aoki¹⁾ and Etsuko Kanaya²⁾

1) Department of Radiological Technology, Gunma Prefectural College of Health Sciences

2) Department of Nursing, Gunma Prefectural College of Health Sciences

Purpose: Sodium hypochlorite and germicidal lamps have been used to sterilize equipment, beds, and gowns in wards and long-term care facilities. With sodium hypochlorite, there are few studies on whether bacteria, etc. are actually sterilized at the dilution shown in the literature and on further deterioration after dilution. The aim of this study was to determine to what degree sodium hypochlorite on the market should be diluted for each purpose, how much the diluted solution deteriorates, and how far does the germicidal lamp reach.

Methods: One of the authors' indigenous bacteria on the nasal mucosa and commercially available *Escherichia coli* were used for this study. The results of various experiments were evaluated by the number of bacterial colonies that appeared on the plate.

Results: Sodium hypochlorite is said to have a stock solution of about 5% and is diluted to 0.02% to 0.5% (250 to 10 times) for use, but in reality, bacteria sometimes increase, even though the residual chlorine concentration is sufficient at 1%. It was found that it deteriorated considerably even though the concentration was appropriate for sterilization. It was found that the germicidal lamp sterilized bacteria in 30 seconds at a short distance, and in the case of a germicidal lamp installed on the ceiling, the sample on the floor was sterilized in about 1 hour. This paper also presents some results on the deterioration of hypochlorite water.

Keywords: Indigenous bacteria, *Escherichia coli* DH α competent cells, Bactericidal effect, Sodium hypochlorite, Germicidal lamps, Hypochlorite water