

【研究報告】

生活空間で用いるオゾン運搬機器の開発

熊谷知哉,麻生信之,新井浩一,渡辺聰

日本医療・環境オゾン研究会会報, Vol.8,No.1, 12-16. (2001)

# 生活空間で用いるオゾン運搬機器の開発

埼玉県工業技術センター南部研究所 熊谷知哉、麻生信之  
 明海大学歯学部 新井浩一、岡谷電機産業(株) 渡辺 聡

**要旨** 病院や福祉施設等の建屋内で、一台のオゾン発生器からオゾンを充填・保持させた容器を用いてオゾンを移送し、用いたい場所で取出し使用するシステムの構築を目的とした。極端な低温を用いず、比較的  
 低濃度オゾンのシリカゲルへの吸脱着特性を検討し、さらにシリカゲルからのオゾン回収における多孔質  
 テフロン膜の利用についての検討も行った。その結果、安全性及び運搬中の保冷についての検討を行え  
 ば、オゾン運搬のための吸脱着現象の応用が可能であることが示唆された。

**キーワード:** オゾン、吸脱着、シリカゲル、生活空間

## 1. はじめに

我が国のオゾン利用は近年、急速に加速しており、今後も増え続けると予想される<sup>1)</sup>。また医療、福祉分野においても、脱臭、殺菌、消毒、治療等の幅広い目的でオゾンの利用が検討されていることから、その利用は益々増えるであろうと思われる<sup>2)</sup>。

オゾン利用の方法について筆者らが埼玉県内のオゾン利用施設を調査した結果、オゾンを利用したい個々の場所にオゾン発生器を設置し、そこで発生させたオゾンやオゾン水を用いるか、あるいはオゾン発生器から各部屋へ配管を通してオゾンを送り天井から噴霧して部屋全体に拡散させるかの何れかの方法が取られていることが多い。総合病院や福祉施設等の多くの人が入り出りする場所でオゾンを利用する場合、前者の方法では一度に設置するオゾン発生器の数も多くなりメンテナンス等も考えると不経済であり、また後者の方法では配管の敷設等でコストがかかるのに加えて安全性の面から懸念される。そこで、一旦発生させたオゾンを手軽に持ち運べる程度の容器内に保持させておき、必要に応じてオゾンを使用する場所に運び、その場でオゾンを取り出して用いる方法が実現すれば、より安全で効率的なオゾンの利用が期待できるものと考えた。図1がそのイメージ図である。オゾン保持の方法としては、プラント規模でのオゾン濃縮に利用されているオゾン吸脱着<sup>3)</sup>を、日常的に実現可能な温度条件で、数10 ppm以下の濃度のオゾンを対象として図2のような試作品を開発し検討を行った。試作品の開発においては、低価格のシリカゲルでどの程度の保持性能が得られるか、あるいはオゾンを回収する際の空気や水とシリカゲルを隔てる素材の材質に関する検討が重要となる。そこで、同試作装置を開発する基礎データとしてのシリカゲルのオゾン吸着保持性能の測定と、隔膜としての多孔質テフロン管を用いた運搬装置について検討を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

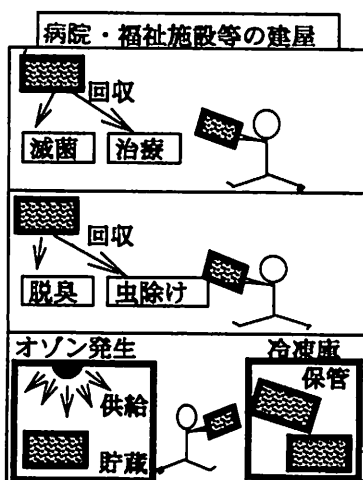


図1 オゾン運搬のイメージ

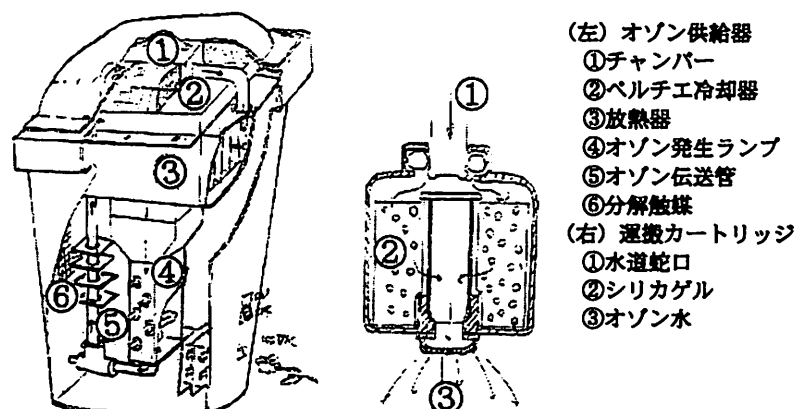


図2 開発中の試作品の一例 (オゾン水製造用)

## 2. 1 オゾン吸着保持性能

図3に示すガラス容器に、乾燥させたシリカゲル87.0gを高さ22cm、直径2.6cmで充填した。シリカゲルは富士シリシア化学(株)製シリカゲルRD.TYPE(平均粒径1.5mm)を用いた。

オゾン発生は岡谷電機産業(株)製紫外線ランプZL-40(185nm)を用いて行った。濃度測定は荏原実業(株)製オゾン濃度計EG5000を用いた。原料ガスには酸素ガスを用いた。オゾンの吸着操作では、所定濃度に調節したオゾンガスをシリカゲルの充填層に供給し、充填層から出てくるガス中のオゾン濃度を測定した。一方脱着操作では同装置に窒素ガスを流し、充填層から出てくるガス中のオゾン濃度を測定した。

充填層周囲温度は、0℃または室温で行った。

## 2. 2 多孔質テフロン管を用いた運搬装置の検討

図4に示すように、ガラス管内に多孔質テフロン管を設置した二重管構造とし、外管に上記のシリカゲル174.9gを充填した。

多孔質テフロン管は、フロン工業(株)製ポアフロンフィルターチューブ(外径6mm、内径5mm、細孔径1 $\mu$ m)を用いた。透過部分の長さは46.8cm、透過面積は対数平均80.6 $\text{cm}^2$ とした。コック①②③④にそれぞれ水中マンメータを接続し圧力勾配を測定した。

オゾン発生と濃度測定は2.1と同様に行った。オゾンの供給ではコック①②を開き、③④を閉じ、流量1.5L/minで所定濃度のオゾンガスを供給した。オゾン回収はコック③④を開き、①②を閉じ、流量1.0L/min又は2.0L/minで窒素ガスを流した。なお測定は室温(25~27℃)で行った。

## 3. 実験結果と考察

### 3. 1 オゾン吸着保持性能

図5に供給時のオゾンガス濃度と吸着量の関係を示す。オゾン濃度に対し吸着量は比例している。直線の傾きより、温度0℃と室温(29℃)では吸着量は2倍程度異なる。したがって濃度20ppm以下のオゾンを用いる場合、図2の試作品開発において、ペルチエ冷却器でオゾン供給時のシリカゲルの温度をどこまで下げられるかが重要となる。

図6に吸着量と吸着操作後直ちに窒素ガスで回収したオゾン脱着量の関係を示す。吸着したオゾンはほぼ脱着し回収できた。

実際の利用現場においては、オゾンの吸着操作を終えてから、オゾンを利用するまでの間に30分から数時間程度の時間経過があることを考慮するべきである。そこで、濃度13~15ppmのオゾンガスで吸着操作を終えた後、充填層の容器のコックを閉じ、一定時間保持した後にオゾンを脱着させた場合のオゾンの回収率(脱着量/吸着量 $\times$ 100%)の変化を求めた。その結果を図7に示す。保持時間の経過に伴い回収できるオゾンの量は減少し、温度0℃で保管した場合は保持時間4時間で20%以下、室温で保管した場合は1時間で回収率が0となる。

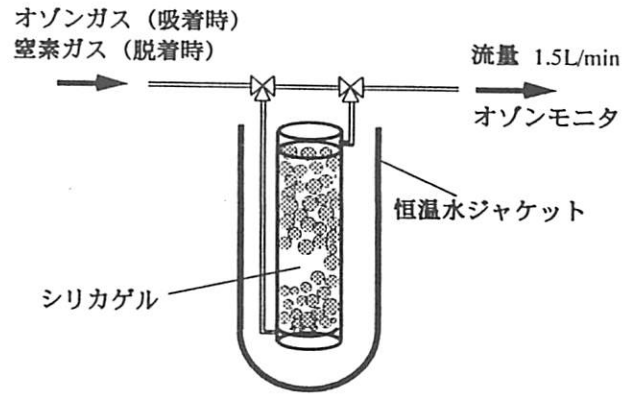


図3 基礎実験装置概略

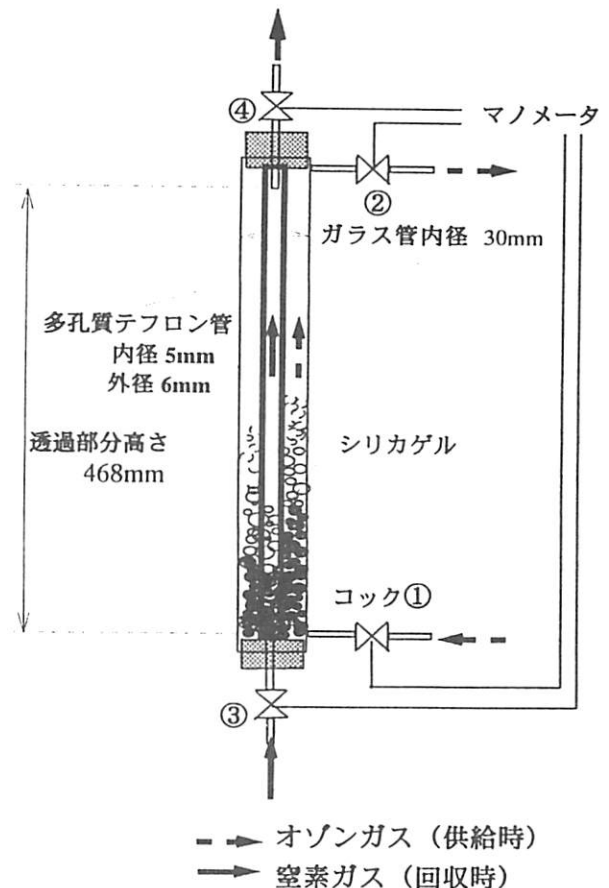


図4 多孔質テフロン管を用いた実験装置概略

実際にはオゾンを持続したカートリッジを使用するまでの間、市販の冷凍庫に保管することを考えており、その場合の温度は $-10^{\circ}\text{C}$ 程度となる。 $0^{\circ}\text{C}$ 及び $29^{\circ}\text{C}$ における結果よりArrheniusの式で予測した $-10^{\circ}\text{C}$ における初期段階での回収率変化の予測を図7中に点線で示した。吸着時よりも低い温度で保管する場合は、保管開始後の回収率の変化は同図に従うと考えられる。冷凍庫で保管した場合1~2時間程度の保持時間であれば、はじめに吸着したオゾンの半分の量以上は回収利用できると予測される。

### 3. 2 多孔質テフロン管を用いた運搬装置の検討

図2に示した試作品の運搬カートリッジでは、その中に水道水を通すことによりシリカゲル中のオゾンを取りこみオゾン水として用いる形としている。この場合、シリカゲルに直接水を接触させる方法も考えているが、使用後に乾燥させなければならないことや、急激な濡れに伴うシリカゲルの破損の問題もある。今回は図2の試作品とは異なるが多孔質テフロン管を隔ててオゾン回収する方法を検討した。テフロンはオゾンにより腐食されにくく<sup>4)</sup>、多孔質テフロン管の利用は、シリカゲル充填層中への水滴の滲入を抑制すると考えられるほか、形状や膜厚を変えることによりオゾンの脱離速度を制御することも可能とするため非常に有用なものである。

図4に示した装置で多孔質テフロン管を隔ててのオゾン回収の実験を行うに先立ち、濃度17 ppm、流量1.5 L/minのオゾンガスを幾つかの流路で装置内を通し、各流路ごとに圧力勾配を求めた。その結果を表1に示す。この結果から、今回用いた多孔質テフロン管による圧力損失は、シリカゲル充填層内での圧力損失と比較してさほど大きなものではなく、オゾンガスの通り抜けを阻害するものではないと予測された。

図8にコック①から②へ向けてシリカゲルに濃度18 ppmのオゾンガスを流量1.5 L/minで供給した時の充填層出口のオゾン濃度経時変化を示す。実験は同様の条件で回収時の窒素ガス流量のみを変え、Run1、Run2の2通り行った。

図8の結果において、供給オゾン濃度18 ppmに対し、曲線が平衡に達した時の出口オゾン濃度は16 ppm以下であることから、装置内である程度のオゾン分解は起こっているものと考えられる。図上積分で求めた吸着量は、Run 1で $0.158 \text{ mg-O}_3/174.9 \text{ g-silica}$ 、及びRun 2で $0.170 \text{ mg-O}_3/174.9 \text{ g-silica}$ 、シリカゲル1 gあたりに換算すると $0.00090 \text{ mg-O}_3/\text{g}$ 及び $0.00097 \text{ mg-O}_3/\text{g}$ となる。図5の結果における $29^{\circ}\text{C}$ での吸着量は、18 ppmに対し $0.071 \text{ mg-O}_3/87.0 \text{ g-silica}$ 、1 gあたりでは $0.00082 \text{ mg-O}_3/\text{g}$ であるから、 $25\sim 27^{\circ}\text{C}$ と $29^{\circ}\text{C}$ の違いも考えあわせると概ね吸着量は一致する。従って、オゾンガス流れの多孔質テフロン管内の短絡による影響はなく、また多孔質テフロンによるオゾン分解もなかったと考えられる。

図9にコック③から④へ窒素ガスを通した時の回収したオゾン濃度の経時変化を示した。実験は回収時の窒素ガス流量を1.0 L/min (Run 1)、2.0 L/min (Run 2)と変えて2通り行った。多孔質テフロン管を通して

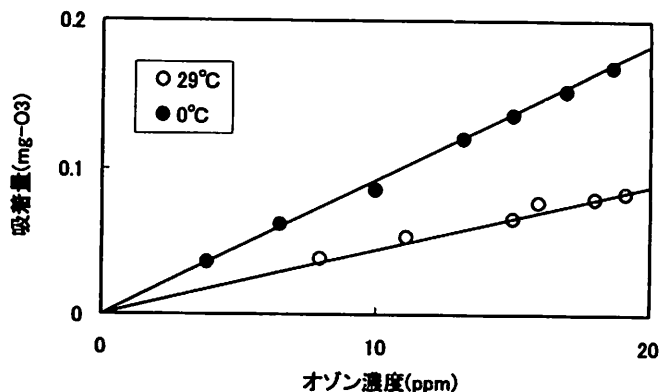


図5 供給時のオゾンガス濃度と吸着量の関係

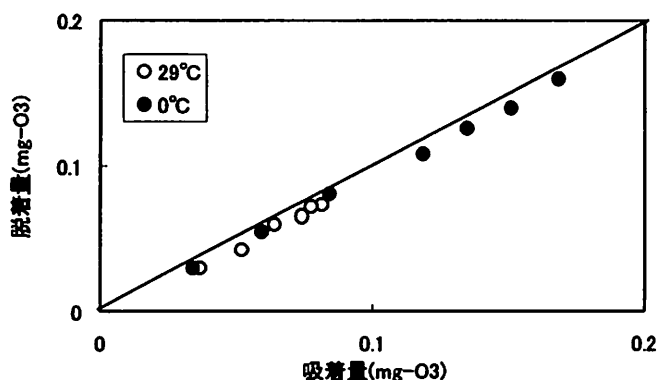


図6 吸着量と脱着量の関係

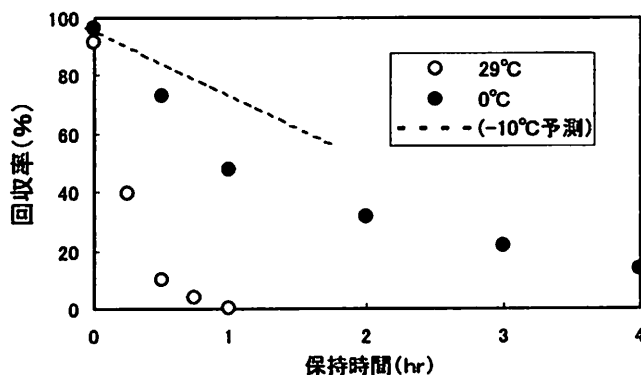


図7 保持時間と回収率の関係

表1 圧力勾配の測定結果

(気温：25℃)

| 多孔質テフロン管の透過面積                 | ガスの流路 | 圧力勾配 (mmHg)     |         |
|-------------------------------|-------|-----------------|---------|
|                               |       | 外管にシリカゲルを充填した状態 | 外管が空の状態 |
| 80.6cm <sup>2</sup><br>(対数平均) | ①→②   | 3.82            | 0.18    |
|                               | ①→④   | 4.63            | 2.24    |
|                               | ③→②   | 3.01            | 2.35    |
|                               | ③→④   | 0.59            | 0.37    |

のオゾン回収では、図8に示したオゾン供給の所要時間と比べ、長時間に渡り緩やかな速さでオゾンが回収されている。図7の結果では、温度29℃における保持時間15分の間に、吸着したオゾンの60.6%が分解消失している。したがって、図9の結果でオゾン濃度が0になるまでの時間のうちにも、同様にオゾン分解が起こっていることが考えられる。図9の積分より求めたオゾンの回収量は、Run 1では0.077 mg-O<sub>3</sub>、Run 2では0.114 mg-O<sub>3</sub>で、回収率としては、Run 1で46%、Run 2で67%である。図10のオゾン回収量の推移を見ると、流量の多い方がオゾンが早く回収されている。したがって、本実験におけるオゾン回収では、濃度勾配により多孔質テフロン管の内側へ拡散したオゾンが窒素ガスで運ばれただけではなく、多孔質テフロン管の外側へ流れ込んだ窒素ガスによりオゾンが脱着し回収されたと考えられる。

Run 2で得たオゾンの回収量 0.114 mg-O<sub>3</sub>では、手洗い殺菌<sup>5)</sup> や義歯洗浄<sup>6)</sup> 用の濃度 1 mg/Lのオゾン水を100 mL程度しか作製できない。しかし、多孔質テフロン管の形状や本数を調節して、テフロン管の内側とシリカゲル充填層の間をオゾンが容易に行き来できるようにすれば、より粒径の小さなシリカゲルを密充填することにより単位容積あたりの吸着量を増やすことも可能である。また、保冷剤を用いて冷凍庫から取り出した後のシリカゲルを低温に保つなどにより、より長時間にわたり均一な濃度で必要量のオゾンを取り出すことも可能である。

以上の結果から、シリカゲルからオゾン回収する際の多孔質テフロン管の利用は有効であると考えられる。

### 5. まとめ

オゾン濃縮等の目的で工業プラント規模での利用が多く検討されているシリカゲルへのオゾン吸脱着を、日常的な温度と比較的低いオゾン濃度で応用することにより、病院や福祉施設等の日常生活に近い場でのオゾンの持ち運びに使えることが分かった。また、多孔質テフロン管でシリカゲルと回収ガスを隔てることによりオゾンの脱離速度が制御可能となり、しかもカートリッジのコンパクト化も可能となることが分かった。本研究では、シリカゲルからのオゾン回収を窒素ガスで行うことを前提としたが、充填層に水道水を直接流し短時間で一定量のオゾン水を得ることも別途検討を行っている。その場合はオゾン保持材料としてシリカゲルよりも多孔質ガラスの利用が有効であると考えている。オゾン吸着の機構についてはシラノール基とオゾンの水素結合であるとの報告がある<sup>7)</sup> が、シラノール基を表面に多く持つ素材の探査と吸脱着剤表

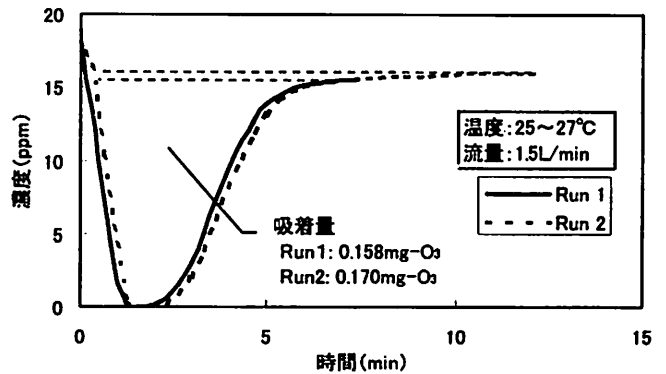


図8 供給時の出口ガスオゾン濃度経時変化

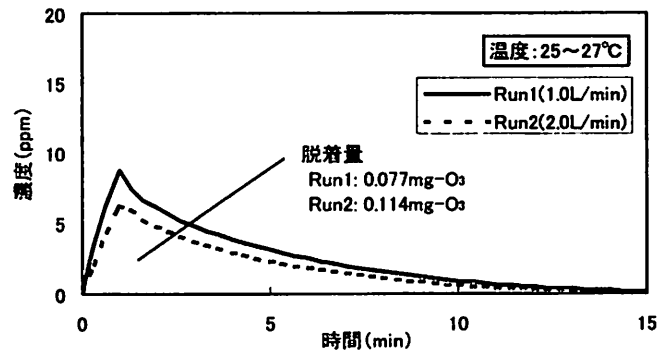


図9 回収時の出口ガスオゾン濃度経時変化

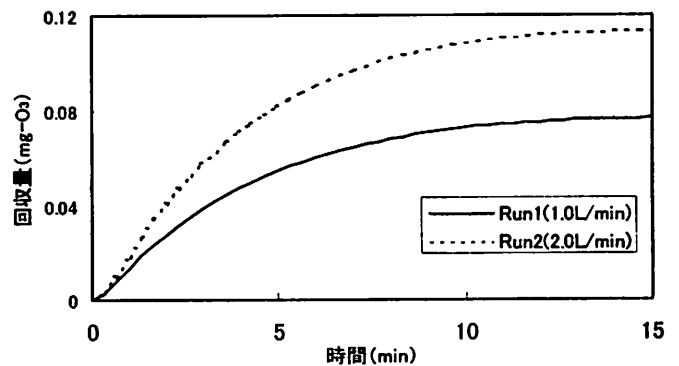


図10 オゾン回収量の推移

面近傍におけるオゾンの挙動を把握することも今後検討して行く予定である<sup>8)</sup>。

滅菌や脱臭等への需要に加え、残留塩素によるトリハロメタン生成等の2次公害が問題となっている昨今、日常の場におけるオゾン利用が普及することを期待する。しかし本研究報告は決してオゾンの安易な取り扱いを促すものではなく、著者らが提案するオゾン運搬機器に関しても、取扱い中における安全面での評価などは今後の検討課題である。

#### 参考文献

- 1) 新エネルギー産業技術総合開発機構：オゾン利用快適環境創造技術の調査研究（1999）
- 2) 埼玉県繊維工業試験場：オゾンUV利用技術研究会活動報告（1997）
- 3) 讀井宏：第8回日本オゾン協会年次研究講演会、29-315（1999）
- 4) 杉光英俊：オゾンの基礎と応用、pp 210、光琳（1996）
- 5) 大泉誠、鈴木哲也、古屋純一、岡本雄吾、石鍋聡、内田光春：日本医療オゾン研究会会報、4巻3号、1-3（1997）
- 6) 松本みどり：日本医療オゾン研究会会報、4巻1号、2-3（1997）
- 7) K.M.Bulanin, J.C.Lavalley, and A.A.Tsyganenko：Physicochemical and Engineering Aspects, Vol.101, 153-158（1995）
- 8) 熊谷知哉、麻生信之、新井浩一、坂本和彦、渡辺聰、他：埼玉県工業技術センター研究報告、2巻（2000）

くまがい ともや 平成5年、山形大学大学院修士課程化学工学専攻修了。埼玉県内の技術振興を目指した産学官の連携による勉強会「オゾンUV利用技術研究会」を発足させ、工業技術センター南部研究所を中心に活動しています。

---

## 会員だより

### *The Pacific Congress on Milk Quality and Mastitis Control (PC2000)*

#### 乳質及び乳房炎のコントロール太平洋国際会議に参加して

北海道 宗谷地区農業共済組合 緒方 篤哉

2000年11月、長野県において開催された乳質及び乳房炎のコントロール太平洋国際会議に参加する機会を得て、乳房炎の新規の治療方法であるオゾン-酸素混合ガスの乳房内注入に関して報告をした。環太平洋諸国の国際会議であるから、アメリカが親分だ。

まず、治療に関わる報告が少なかったことが印象的だった。予防的な治療に関する報告が主であったが、鶏や豚がそうであるように、牛の乳房炎はもはや治療する対象ではなくなったのだろうか。さにあらず！

アメリカでは、治療をすると経費がかさむので治療はしないで、もっぱら経済的に合わなくなったら牛を処分する方法がとられているのだ。私は、だからオゾンが有効だと思うのだが、私がした報告に対する反応は冷ややかなものであった。アメリカのある企業の「オゾンを用いた搾乳機器の殺菌に関するチャレンジは、危険な上にコストがかかりすぎる」との報告からも見られるように、やはりオゾンは悪者の印象が強いようであった。反論はしないが、肯定もしない。しかし、アメリカの酪農家がした発言は忘れることができない。「獣医師をはじめとする技術者は、自然治癒率を超える治療方法を開発できないのならばその存在価値はない。いっそうの努力を要望する」と。

疾病を予防することの重要性はよく理解できるが、発病してしまったものを治療できないで知らん振りをするのはいかがなものかと思う。大ざっぱに言って、動物に魂があると信じる仏教徒である大多数の日本人と、動物は人間のために神が与えた存在であると信じているキリスト教徒の多くのアメリカ人。そこには、宗教的な意味合いの違いがあるのかもしれない。