

特別寄稿： 厚労省も陥ったか，ヒューマンエラーと 二酸化炭素中毒事故にまつわる謎

佐藤 暢*，飯野 守男†

第1部 小型ボンベのマジックによるヒューマンエラー

これまでの経緯と事故原因分析

著者* は 2016 年に本誌に寄稿した二酸化炭素ボンベ誤用事故の論文 (5)¹⁾ 等のなかで，一般に酸素ボンベと二酸化炭素ボンベ¹ の取り違えと言われている致死事故は，炭酸ガスボンベの緑塗色を見た医師や看護師等が，本邦では酸素ボンベが黒いことをつい失念して，緑色の酸素ボンベの幻影を見て勘違いした事故ではないかと繰り返し書いてきた^{1-3,6,9)}。

もともと酸素ボンベが現場に無かったから起きた事故なので，両ボンベ間の取り違え事故でないのは明らかである。にもかかわらず，現場にあった酸素ボンベを取り違えたかのような記載が未だに絶えない。もし酸素ボンベが現場近くにあったとしてもそれを認識して使おうとした人が現場に居なかった場合には，酸素ボンベが現場に無かったのと同じことになるのではないか。それでも，なお殆どの人が酸素ボンベの（または、酸素ボンベとの）「取り違え」と書くのはなぜなのか。これについては，二酸化炭素ボンベ誤用事故の論文 (4)²⁾ の「取り違え」4 事件の再検証などで詳しく書いてきた。酸素ボンベは黒塗色，炭酸ガスボンベは緑塗色で識別すると法令で決まっているのに，厚労省，医薬品医療機器総合機構 (PMDA)，学会，業界と皆揃って両ボンベ間の「取り違え」と書いてきたのは何故だろうか。著者* は真剣に悩んできた結果，これはまさに手品ではないかと

気が付いた次第である。

黒塗色の酸素ボンベと緑塗色の炭酸ガスボンベは識別色で容易に判別できるはずなのに，同じサイズで外形が同じというだけで，どうして類似した物同士のように取り違えたというのであろうか。黒色も緑色も同じに見える色覚異常や色覚失認の人がそんなに多いのであろうか。いや，実際には現場で見たボンベは緑色の小型炭酸ガスボンベだけであったのに，酸素ボンベと炭酸ガスボンベを取り違えたと厚労省の課長さんが 2 人連名で 4 回も繰り返し書いている課長通知：平成 23 年 7 月 25 日付 医政総発 0725 第 3 号/薬食安発 0725 第 1 号，「酸素ボンベと二酸化炭素ボンベの取り違えに起因する健康被害の防止対策の徹底について」²⁾ の強い影響からか，事故の現場には黒塗色の酸素ボンベが存在してそれを緑塗色の炭酸ガスボンベと取り違えたという幻想をもつ人が何と多いことか。緑塗色のボンベを目前にしながら黒塗色の酸素ボンベと取り違えたとすれば，まるでお化け屋敷での出来事のようなのであるが，手品というよりむしろマジックに騙されたと思えば皆も納得できるのではないかと気が付いた次第である。

炭酸ガスボンベの緑塗色を見ながらも，本邦では（航空機内設備の酸素ボンベを除いて）存在するはずのない「緑塗色の酸素ボンベ」と勘違いするのは何故なのか。麻酔科医や看護師等は平素が

* 鳥取大学名誉教授 元 JIS 麻酔器・医療ガス配管設備等専門委員会委員長

† 鳥取大学医学部社会医学講座法医学分野教授

¹ 日本薬局方 二酸化炭素は冒頭に「本品の性状は無色のガス」と明記しているので，ここでは「炭酸ガス」と書き，その高圧ガス容器（ボンベ）は「液化炭酸ガスボンベ」と記載すべきところを簡略化して「炭酸ガスボンベ」と書くことにする。ボンベ内に充填された状態での液化炭酸ガスや固形のドライアイスとの区別を明瞭にするためである。

掲載許可日 2017 年 3 月 10 日

ら麻酔器等の医療機器や医療ガス配管設備の上で「緑色は酸素」という環境で診療に従事している。その上、労働安全の旗や標示においても緑色のものが多く、また日常生活における交通青信号も緑色なので、「緑色は安全」「緑色は酸素」だと判断しやすいと考える。その反面、緑色の炭酸ガスボンベを見て、「それには炭酸ガスが詰まっているから誤吸入すれば非常に危険」と認識している人は稀である³⁾。そういった医療従事者たちが、炭酸ガスボンベの緑塗色を見た際に、つい無意識に“安全な酸素”と誤認しないようにこの論文を書くことにした。

緑塗色のボンベを何と取り違えたのか

繰り返しになるが、緑色のボンベには直接吸うと大変危険な炭酸ガスが詰まっているから、直ちにSTOP!と判断しなければならない。実は、万一誤吸入すれば大変危険な炭酸ガスが詰まっているボンベが緑色でかつ医療用酸素の識別色と同じであるのは日本だけの特殊事情である。米国などでは医療用ボンベも医療機器・設備の上でも酸素の識別色は緑色に統一されているので安心である。

著者*は医学部卒業直後から米国で臨床研修(Internship等)を受けたので、未だに眼を閉じると緑色の酸素ボンベが浮かび上がってくる。当時は米国でも医療ガス配管が行き渡っておらず、病院でも緑色の酸素ボンベを日常使ったものである。米国で研修した医師は多いので、帰国後には緑色のボンベを酸素と感じる人は少なくないに違いない。このような背景の下に本邦で医療用酸素の識別色が緑色と決められたのは1976(昭和51)年の日本工業標準調査会(JISC)におけるJIS T 7201「麻酔器」の改正であるが³⁾、当時は本邦でも米国仕様の医療器具、医療ガス配管の普及とともに医療用酸素の識別色は緑色との認識は次第に病院内に広がった。また、酸素吸入用マスク、チューブなどの部品類や、流量計などにも緑色標識のものが多く、酸素にふさわしい緑色のデザインが浸透していった。そして、1993年のJIS T 7011「医療ガス配管設備」とJIS T 7111「医療ガスホー

スアセンブリ」の制定で、医療施設の上でも酸素の識別色は緑色、2006年の改正で炭酸ガスの識別色は橙色と決まったのであるが、本邦では以前から高圧ガス容器の識別色として酸素ボンベは経済産業省令「高圧ガス保安法 容器保安規則」⁴⁾で黒色、液化炭酸ガスボンベは緑色と決められており、医療用ボンベの色もこれに従っている。

しかし、厚生労働省やPMDAからの通知には、主務を(当時)厚生大臣として制定されたこれらJISの識別色に関して全く触れていないのは何故か。単に担当官の不勉強や縦割り行政のためによるヒューマンエラーだとは思えない何か因縁があるように著者*は感じており、当局から納得できるような説明を求めるのも当論文を公表する目的である。何故ならば、これら該当JISが規定する医療機器・医療施設上の「酸素は緑」の識別色が、経済産業省令「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」が規定する液化炭酸ガスボンベの緑塗色と一致していることこそ、「酸素ボンベと二酸化炭素ボンベの取り違えに起因する健康被害」の原因であり、この問題解決のキーポイントと確信するからである。但し、ここで取り違えとは、両ボンベ間では無く、炭酸ガスボンベの緑色の意味を酸素と取り間違えたことになる。

一方で、EUを中心とした国際標準化機構(ISO)や欧州標準化委員会(CEN)では、識別色は医療用ボンベを基に酸素は白色、炭酸ガスは灰色と決めており、医療機器や設備にも適用されている。このような経緯については、当時JISC(Japanese Industrial Standards Committee:日本工業標準調査会)の専門委員会の委員長を務めてきた著者*がこれまでに述べてきた通りであるが^{3,5,6)}、とても複雑に絡んで整理・統一できそうにもない現状である。何しろ、はっきりと識別に使えるような色は赤、青、緑など7色程しかない。そこで、2色塗装(two-tone color)で医療用ボンベを産業用ボンベから区別をする工夫が必要になってくる。すなわち、灰色と青色の2色塗装で医療用亜酸化窒素(N₂O、笑気)ボンベを標示してきたのに做っ

て、緑色と橙色の2色塗装で医療用炭酸ガスポンペを標示する方法である。つまり、炭酸ガスポンペの緑塗色が示す意味を「酸素」と取り違える認識上のエラーに陥らないように、医療用炭酸ガスの識別色であるのに加えて警戒色でもある鮮やかな橙塗色を目立つように加えた two-tone color が、安全な酸素でなくて大変危険な医療用炭酸ガスポンペだと警告する手段として重要な働きをすることになる。

ポンペ取り違えの絡繰りは手品というよりもマジックであって、皆が騙された！

問題は、このような識別色の中で、小型炭酸ガスポンペの緑塗色を見ながらなぜ同サイズの黒塗色の酸素ポンペと勘違いするのかという点である。このヒューマンエラーのプロセスを、著者*は「酸素ポンペと思って見ている炭酸ガスポンペは、酸素ポンペの黒色ではなくて緑色であるから、物と色との二重の錯覚によって折角色分けしてある酸素ポンペと炭酸ガスポンペとの間の誤認（認知エラー）が、炭酸ガスポンペという同一物の上で無意識のうちに瞬時に起きるので、まさに手品のように誰も気が付かない。その時は、黒色の酸素ポンペも緑色の炭酸ガスポンペも眼中になくて、緑色の酸素ポンペという幻影が頭の中を一瞬のうちに占拠したものと理解する。」と書いた¹⁾。このような手品というよりもマジックの種明かしをするとすっきり解るし、このヒューマンエラーへの適切な対策を考える上での重要なキーポイントとなる。

つまり、現場に無かった黒色の酸素ポンペと現場にあった緑色の炭酸ガスポンペとが無意識のうちにすり替わった錯覚が、前述の厚労省の課長通知¹⁾、医療安全情報 PMDA No.13⁷⁾を始め、著者*を含めて⁸⁾ 殆どの関係者が大勢で緑色の「炭酸ガスポンペの誤認」事故を、両ポンペ間の「取り違え」と少なくとも一度や二度は書いた事実、更には「酸素ポンペの取り違え」「酸素ポンペの取り扱い」や「酸素ポンペ誤認」事故と反対に書いた諸氏は、皆⁹⁾ まさか目前で緑色ポンペのマ

ジックが公然と一瞬のうちに行為されて炭酸ガスポンペが酸素ポンペにすり替わったとは気が付かなかったに違いない。また、マジックとの認識もなかったので無意識の内に騙されたのではないかと思われ、このようにマジックの種を明かしてしまうと、お互いに解り合える気持ちになるのは私だけであろうか。

その上で、当該事故の原因と防止対策について「本邦では炭酸ガスポンペの緑塗色が平素見慣れた医療用酸素の識別色と同じ緑色であるから、酸素ポンペが黒色であることを忘れて、ついっかりと緑色の酸素ポンペと誤認（勘違い）したまま使用してしまうヒューマンエラー（認知エラー）であるので、特別に注意喚起を行い、事故防止対策を周知徹底する必要がある」と書くに至極分り易い。

これ以外に、炭酸ガスポンペに「酸器」とメーカー名が記載してあったのを「酸素」と読み違えたたと看護師が事故の原因を説明したとの報告²⁾もあるが、白くペンキで書かれた文字を読む前には炭酸ガスポンペの全面的緑塗色を見た筈であり、その時にまず無意識のうちに安全とか酸素とかを感じた上で読み違えたものと推定される。或いは、まずポンペの緑塗装を見て酸素ポンペと勘違いしたヒューマンエラーを無意識に犯した後で「酸器」の白ペンキ文字を酸素と読み違えた原因だと勘違いして説明したとも考えられる。いずれにしても黒塗色の酸素ポンペは現場に無かったのであるから、それを使用できなかったから起きた事故を、緑塗色のポンペを見て黒色の酸素ポンペと取り違えたと記載したのは、緑色のポンペを見ている内に酸素ポンペにすり替わったマジックに気が付かなかったとしか言いようがないのではないか。

取り違えに起因する結果と健康被害防止対策

特筆すべきは、この厚労省課長通知の「酸素ポンペと二酸化炭素ポンペの取り違えに起因する健康被害の防止対策の徹底について」という標題では、両ポンペ間の取り違えというヒューマンエラーの原因を追求する事故防止対策ではなくて、両ポン

べ間の取り違いというエラーに起因する健康被害を防止する対策を徹底すると読める²⁾。これではヒューマンエラーの原因分析による事故防止対策ではなくて、炭酸ガスの誤吸入を招いた両ボンベ間の取り違い事故に起因する健康被害を防止する対策を厚労省が周知徹底することになり、致死的事故に起因して死亡が瀕死の重症になった後の対策では one stage 手遅れではないかと、別の疑問が湧いてくる。

しかも、その対策は、記の「2. 医療用ガスボンベについては、使用時のみボンベとレギュレーター等を接続し、保存時にはボンベからレギュレーター等を外すことを徹底する等」と書いてある。これでは、医療用ガスの代表である酸素ボンベのバルブを開けての空ふかしは大丈夫か、所定のパッキンはあるか、レギュレーターを付けた後で漏れはないか、発火しないか等と毎回緊張して作業している手順をご存知でないのではないか。

大体何のためにこんな危険な苦労を使用の度に繰り返す必要があるのか。著者*の経験では、無事に使用できたレギュレーター付ボンベは正しく接続して安全に使えた証拠として、そのままバルブを閉じるだけで片付けておき、次に使用する時には点検するだけですぐに安全に使用できるので慌てる必要もなく、ガスの残量に注意しながらボンベを一本ずつ使い切る(空にまでするのではない)というのが、医療用ガスボンベに限らず、常識ではないかと思われる。このような使い方が一般に便利で、空ふかしテストの必要もなく安全かつ効率的であるのに、特に在宅酸素や救急車など酸素ボンベ以外に似たようなボンベのない場所で取扱い指針どおりの操作を使用の度に行うことは、接続時の危険なプロセスを繰り返すことになり、却ってガス洩れなど使用開始時の事故を増やしてはしないかと心配になってくる。

第2部 日本薬局方解説では炭酸ガスも窒素と同じという怪 単純窒息か中毒か?

著者*は2016年末に文献¹⁾において、2016年6月1日付で日本産業・医療ガス協会(JIMGA)が会長名で出した指導文書¹⁰⁾の中の【別紙4】「二酸化炭素ラベルの作成例」のガスの性質を示すシンボル・マークのなかの単純窒息性マークに着目した。単純窒息性とは、それ自体には毒性はなく十分な濃度の酸素があれば重大な生理学的影響を与えず、酸素との置換が進み過ぎることによってはじめて酸素が減少し過ぎて窒息に至るという性質である。すなわち、急性劇症炭酸ガス中毒は窒素等の不活性ガスが過剰濃度になった場合の低酸素血症とは大きく異なるのに、未だに高濃度炭酸ガス混入が引き起こす空気中の酸素濃度の低下による障害だとする誤った見方が社会で通用しているという事実がある¹⁾。

法医学領域において国内外でこれまで多くの炭酸ガス中毒事例が報告され、高濃度炭酸ガスの危

険性が具体的に指摘されていることからその強い中毒性は明らかである。まず、高濃度炭酸ガスが引き起こした大規模災害事例として、1986年に発生したカメルーンのエオス湖の湖水爆発があり、約1,700名が死亡した^{11,12)}。この事案において、地域住民は火山ガスの主成分である高濃度(8~10%)炭酸ガスを吸入したとされる。

高濃度炭酸ガスによる死亡例の報告でもっとも多いのは労働災害である。ドライアイスを用いた保冷車の冷凍庫内での死亡例において、炭酸ガス濃度は17.1~18.6%であり、当時の酸素濃度は17.1~17.4%であった^{13,14)}。このほかにもドライアイスを入れた冷凍庫内での死亡例(炭酸ガス40%)¹⁵⁾、換気装置のない実験室でドライアイスを使用し死亡した研究者の例(炭酸ガス最大20.5%)と閉鎖空間で炭酸ガス消火装置が誤作動し死亡した事例¹⁶⁾、発酵タンク内での死亡例(炭酸ガ

ス 8 % , 酸素 18.5 %)¹⁷⁾ や船倉タンク内での死亡例 (炭酸ガス 約 8 % , 酸素約 19 %)¹⁸⁾ , さらに死亡例ではないものの一時的に多量の炭酸ガスが放出された製氷工場において 25 名の負傷者を出した事例¹⁹⁾ がある . そのほか , ドライアイスや食添用炭酸ガスポンペを用いた自殺事例や二酸化炭素消火器を用いた心中事例の報告など多数ある²⁰⁻²²⁾ .

高濃度炭酸ガスの有毒性については , 動物 (犬) 実験モデルにおいて証明されており²³⁾ , 高濃度炭酸ガスは致死レベルではない酸素濃度投与下において 1 ~ 数分間で死に至らしめるため , 単純窒息性ではなく強い中毒性があると結論付けられている . 炭酸ガス単体での危険性については , 国内における二酸化炭素消火設備の誤動作による死亡事例を受け , 消防庁から通知がなされた²⁴⁾ . その中で , 「二酸化炭素が有する人体に対する毒性により , 生命に危険を与えることがある」とされ , 「気中濃度 10 % 以上では数分以内に意識喪失し , 放置すれば急速に呼吸停止を経て死に至る」「気中濃度 30 % では 8 ~ 12 呼吸で意識を喪失する」と強い危険性が指摘されている . しかし一方で , 当時の労働省からは同じ事故および類似の事故をまとめて「二酸化炭素消火設備における酸素欠乏症」として通知²⁵⁾ するなど一貫性に欠けるのは , 縦割り行政での重大欠陥とも思われる .

つまるところ , 高濃度の炭酸ガスの誤吸入ないし誤換気による急性中毒は , 酸素濃度の低下したガスを吸入または換気されることによる酸欠事故 , 窒息事故とは明らかに異なるにも関わらず , 医療においては , 今でも炭酸ガスは不活性ガスで , 酸素と同じく毒性がない , 副作用がないとされて , 窒息事故や酸欠事故と同じように思われているのではないか¹⁾ . この問題の原因は , 日本薬局方解説書に 日本薬局方 (JP) 二酸化炭素の【副作用】に「特別なものは知られていない」と記載されているからであろうか²⁶⁾ .

炭酸ガスの副作用に特別なものは知られていない

詳しくは , 2016 年 7 月に改正発行された 第 17

改正 日本薬局方解説書²⁶⁾ における「二酸化炭素 Carbon Dioxide 炭酸ガス」の項目での記載は以下の通りである . 2011 年 6 月発行の第 16 改正の同解説書「二酸化炭素」も調べて見ると , 日本語の物質名が 17 版では英語になって短くなった以外 , 変更点は全くない .

日本薬局方

二酸化炭素 Carbon Dioxide 炭酸ガス
(C-3716 頁)

本品は定量するとき , 二酸化炭素 (CO₂)99.5 vol % 以上を含む .

性状

本品は室温 , 大気圧下においては無色のガスで , においはない . (途中省略)

—解説— (C-3718 ~ 3719 頁) には ,

【本質】医療材料 , 置換用ガス (途中省略)

【薬効薬理】呼吸中枢は動脈血の二酸化炭素量の増加により興奮する . その結果 , 呼吸が速くかつ大きくなって , 肺胞内におけるガス交換が活性化される . 動脈血内の二酸化炭素量を減じようとする自律性の機構である . 血中二酸化炭素量の増加はまた循環系にも影響を及ぼし , 脳の血管中枢に働いて全身の血管の収縮を起こすが , 脳血管は拡張して血流の増加をきたす . 心拍数及び刺激伝導は抑制されるが拍出量は増加する .

【副作用】特別なものは知られていない .

【適用】酸素吸入の際に酸素単独に比べ二酸化炭素を併用の方が効果的である場合 , 高山病における呼吸困難 , 麻酔時における覚醒と手術後の肺拡張不全の予防 , 一酸化炭素 , モルヒネ , シアン化合物などの中毒時における呼吸中枢の興奮性低下に対して用いる . 酸素吸入に併用する場合には , 純酸素に対して 5 ~ 10 vol % を混合する .

以上であるが , 麻酔時における覚醒としてこのような使い方をしたのは , 呼吸を刺激する良い医薬品が他になかった , 本邦で言えば臨終期にビタカンファ 注射を頻用したビタカン時代までであ

ろう。当時私が米国で研修していた時には確かに 5% CO₂ と 95% O₂ の混合ガスの製品があったが、現在では有効で安全な注射薬が多々手軽に使える上に、むしろ障害された呼吸中枢を医薬品で頻回に刺激して疲弊を早めることは禁忌とも考えられて、適度な人工呼吸を続けて保存的に救命するのが常識となっている。こうなると、前記の日本薬局方解説書の記載は、隔世的な不勉強と言っても過言ではないと思うが、どうであろうか。もし医師や薬剤師の国家試験で、基礎ともなるべき日本薬局方解説をそのまま引用して解答を書いたとしたら、果たして合格点を厚生労働大臣から戴けるものであろうか²。

しかも、厚生労働省からは第 17 改正日本薬局方 (JP) 作成基本方針が公表されており (平成 28 年 8 月 25 日 薬事・食品衛生審議会答申)、JP は公的・公共・公開の医薬品品質の規範書であり、その作成過程における透明性、国際化、最新の学問・技術を積極的に導入して内容の質的向上を図るとか、説明責任を果たす役割が求められるとの記載がある。JP 自体はインターネット上に公開されているが、その解説書は日本薬局方解説書編集委員会編で廣川書店から発売されているものが高価 (102,600 円) な大部であるので、図書館や薬局にも蔵書がないことが多い。臨床的には、専ら

薬学的な JP 本体よりも、薬効薬理、副作用や適用が記載されている解説書の方が余程有用な内容を含んでいると思うが、前記のような実情を見ると解説書には安全対策上必要な最近の情報が入っているとはとても言えないのではないか。

一方、日本薬局方 窒素 Nitrogen の項を見ると、下記の記載がある。

“本品は空気液化分離法により製造された窒素である。本品は定量するとき、窒素 (N₂)99.5% 以上を含む。性状 本品は室温、大気圧において、無色のガスで、においはない。”

に始まって、その—解説—には、

【本質】置換用ガス (途中省略)

【副作用】特別なものは知られていない。

【適用】酸化されやすい薬品の保護ガスとして、注射用アンプル製剤に用いる。液体窒素は固形二酸化炭素 (ドライアイス) と同様に、冷却作用を利用して腐食剤として用いる³。(C-3110 頁)

ここに、炭酸ガスを窒素と同じような不活性ガス (inert gas) と誤解した由縁があるのか。確かに炭酸ガスは熱で分解されず、酸化もされないのので、換気さえ十分にすれば後に毒物汚染が残らないので食品工場や倉庫等での消火剤として頻用さ

² 日本薬局方 二酸化炭素の添付文書には、各社とも【主要文献】に第 15 改正 日本薬局方解説書, C2935-2940, 2006 と第 16 改正 日本薬局方を挙げている。この事は、添付文書の炭酸ガス漏洩時の注意における許容濃度は 5,000ppm (0.5%) と 1 日 8 時間、週 40 時間の労働環境における長期安全限界 (米国産業衛生専門家会議) しか示していないので、そのおよそ 200 倍の濃度に到る可能性のある急性炭酸ガス中毒時の致死性の猛毒性については全く記載がない¹⁾。この添付文書を纏めた JIMGA の技術委員会、これを指導したとされる PMDA は、炭酸ガス誤吸入事故の危険性についての知識も配慮もなく、日本薬局方 二酸化炭素 を医薬品として取り扱っている現状を具体的に示していると思うが、管轄する厚生労働省にこのような事態を報告し、本邦の医療の安全管理上の欠陥を指摘してその責任を告発するのが、本論文を書いた趣旨でもある。

³ 液体窒素と同様に用いるのは、固形二酸化炭素ではなくて、むしろ液化炭酸ガスではないか? また、腐食剤ではなくて、防腐剤の誤りと思うが、冷却作用を利用する場合には防腐剤とは呼ばないのではないかと思った。ところが、岡山県立図書館で日本薬局方解説書を経年的に調べたところ、第 7 改正 (1961 日本公定書協会編)、第 8 改正 (1971 同)、第 11 改正 (1986 同)、第 15 改正 (2006 日本薬局方編集委員会編)、第 16 改正 (2011 同)、第 17 改正 (2016 同) の記事の比較で、前 2 者では液化窒素をドライアイスと同様に利用して疣を冷却・腐蝕する例 (Savitt: JAMA 155: 666, 1954) を挙げていたが、1986 年以來はずっと現表現となっていたことが解った。これで最低 50 年間は進歩がなかったことが判った。なお、腐食剤たる硝酸銀を用いていぼを焼灼 (etching, Aetzen (独)) する治療法は古くからよく行われてきたが、ドライアイス (昇華点: -79) や液体窒素 (沸点: -196) では、手技は似ていても、皮膚を凍結・壊死させるもので、硝酸銀などの腐食 (erosion, corrosion, caustic) 作用と同一視すべきものではないだろう。

れているが、不用意に人が誤って吸入すると中毒性が大変強い¹⁾。

つまり、JP 解説書の炭酸ガス (CO₂) に関する記載が、He, N₂, Ar 等と並んで不活性ガス (inert gas) であり、それが無毒と誤解されて、単なる酸欠事故、窒息事故と同じと見なされた結果、急性炭酸ガス中毒についての認識に根本的な間違いを生じ、その特異な危険性、強い中毒性が無視された結果、それについての対応が遅れている原因ではないかと思うに至った。また、それが日本薬局方 二酸化炭素の添付文書にも反映されて、追記 3. と 4. ¹⁾ に述べたような問題を引き起こしているものと考え。

なお、炭酸ガスの中毒性を人体実験で学術的に確認することはできないので、厚生省が医薬品として CO₂ の副作用情報を認めないのかもしれないが、余りにも危険性を無視した反社会的な無責任行為ではあるまいか。実話ではないかも知れないが、確か米国映画で炭酸ガスが死刑か毒殺に使われるのを見た覚えがある。はっきりした数字としては、米国の化学物質毒性登録 (RTECS⁴: 旧 NIOSH) の「ヒトの炭酸ガス最小致死濃度は 10 % で 1 分間, 9 % で 5 分間」というのがある。本邦では、鳥インフルエンザの防疫対策に、何千羽という鶏を一気に処分するのに二酸化炭素が使われている。これも、炭酸ガスの毒性が大量の鶏でも暴れ苦しむ間もないほど極めて迅速かつ強力に働くのに、後に毒性物質が残らないためだと聞いている。

理論的には、吸気中の CO₂ 濃度が 100 % 近くまで上昇するのに比例してヒトの血漿中の炭酸ガス分圧が急速に上昇するに従い、Henderson-Hasselbalch equation⁵ の + log 部分の分母 P_{CO₂} が、生理的範囲の 15~20 倍までも

上昇することにより、炭酸の解離によって成立する血漿 buffer のバランスが崩れて血漿の pH 値が 7.0 以下までにも瞬時にしかも大幅に酸性になる強度な acidosis (アシドーシス) から acidemia (酸血症) となり、心筋細胞を始め全身の細胞の環境が急激に酸性化することによって直ちに細胞膜の機能異常を来して、高度な不整脈から心停止など致死的機能異常が極めて迅速に全身的に起こる上に、赤血球内ヘモグロビンの酸素親和性が pH の低下とともに増大する Bohr effect (ボーア効果) により組織の低酸素症 (hypoxia) を合併する状態で通常死亡するが、これが高濃度炭酸ガス入り空気を誤吸入した場合に起こる急性劇症炭酸ガス中毒症の典型的病理だと考える。

純炭酸ガス (JP 二酸化炭素) を直接吸入した場合、吸気中の酸素濃度低下による二次的な低酸素血症 (hypoxemia) を合併することもあるが、一次的には前述の血漿中の炭酸ガス分圧上昇のために発生する酸血症が心筋細胞等の機能不全をもたらして極めて初期の間に循環停止に至る。直ちに純酸素による人工呼吸や人工肺による換気等で対処すれば、酸欠による脳障害とは違って、肺からの血中炭酸ガスの排出が大変速いので意外に大脳機能の回復等が早期に得られることも期待される。

神戸市での急性劇症炭酸ガス中毒症の事故 (2011 年 7 月) でも、一旦蘇生に成功してその日の内に会話ができたと聞いた程改善したかに見えた 6 日後になって、なぜ再び心停止した¹⁾ のか疑問も多い。このような経過が通常の酸欠事故との特徴的相違を反映しているとも考えられるが、貴重な症例の治療経過や予後についての報告は全く見られない。総じて本症の病理学的実態は未解明のままであり、人体実験はできなくとも、せめ

⁴ RTECS とは、Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (化学物質毒性データ総覧) で、2001 年までは National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH: 米国国立労働安全衛生研究所) によって管理されていたが、現在は民間企業である Symyx Technologies によって運営されているので、有償の購読制となっている。

⁵ Henderson-Hasselbalch 式とは、血漿のような緩衝溶液の pH の計算に用いるもので、血漿中では
$$\text{pH} = 6.10 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{(0.03 \text{ mM/mmHg}) \times \text{P}_{\text{CO}_2}}$$
 となる (最新医学大辞典第 2 版 医歯薬出版 東京 2001)。

てヒトの血液を用いた *in vitro* での詳細な実験報告が待たれる所以である⁶。

著者*は、現役の研究生活を去って20年にもなる老骨として、血を吐く思いで本論文を書くしかこの問題を社会に訴える力が残っていないことが本当に残念である。

しかるに、“現在では、二酸化炭素吸入による死亡原因は低酸素ではなく「二酸化炭素自体による急速な中毒作用」によることが多くの実験報告で明らかになっています。”との報告が見られ²⁷⁾、またそれが現状を表しているかのように感じる程「二酸化炭素自体による急速な中毒作用」による危険性は知られて来てはいるものの、急性炭酸ガス中毒症の本質的な実験研究

は殆ど進んでいないというのが実状であろう。その実態をここに警告し、大いなる期待をもって若い諸賢の新しい研究に託することにする。それこそが医療現場における安全対策及び救命治療向上の基礎として必須の要件と信じるからである。

なお、急性炭酸ガス中毒症の病態を、CO₂が高い状態から呼吸性アシドーシスに分類するのが一般的であるが、実際には呼吸障害や肺の換気不全とは関係なく、むしろ呼吸でCO₂を排出すべき肺を通じて病的に高い分圧でCO₂を反対に押し込む人工的な急性炭酸ガス中毒症であるから、その病態を「中毒性アシドーシス」という別の分類を新設して、両者を区別するように提案したい。

⁶ 日本光電の青柳卓雄氏からの私信(2016-01-23のメール)に「私も、血液を使った実験をさんざんやりましたが、CO₂の脱酸素能が、N₂に比べて格段に強いことを実感しています。パルスオキシメトリの理論を作るにはO₂HbおよびHbのスペクトルが、信頼できるものでなくてはなりません。(中略)自分で測定するほかないと考え、病院の研究室をお借りして理論の基礎データを取りました。Hbのスペクトルを得るために、血液をN₂の中で攪拌するのは、いくら時間をかけても駄目でした。ところが、CO₂ガスの中で攪拌すると、急速に、O₂Hbが減少します。」とあったのを思い出し、ヒトの血液を使う急性炭酸ガス中毒 *in vitro* 研究へのヒントとして紹介する。

追記

右に示す写真は、2006年6月発行の第15改正日本薬局方解説書からコピーしたC-2498頁の

【適用】 本剤は不活性ガスとして、酸化されやすい薬品の保護用ガスとして注射用アンプル製剤に必要なものである。液体窒素は固形二酸化炭素(ドライアイス)と同様にその冷却作用を利用して腐食剤として利用される。

日本薬局方 窒素の【適用】である。その時には、日本薬局方解説書編集委員会書/編とある。その20年前に編集された第11改正は1986年の発行であるが、標題が【薬効】【適用】と変わっているだけで、その本文は全く同じである(D-636頁)。その時の編集は、日本公定書協会とあるが、20年間に5回改正を重ねている間に編集者の名前が変わったものの一字も変化がないとは、日本薬局方の窒素は気体であるから、医薬品としての効用は酸化されやすい薬品の保護に注射用アンプル内に詰めるだけであつたので、その効用に伴う副作用については「特別なものは知られていない。」と解すれば、間違っていないのかも知れない。

しかし、CO₂ 99.5 vol %以上という日局(JP)二酸化炭素を吸入した場合における副作用、すなわち急激なCO₂中毒作用は、窒素のような不活性ガスを吸入した場合における単なる酸素欠乏症とは全く違うのに、今でもなお解説書の中で全く解説していないのは、余りにも不勉強ではないか。そして、CO₂の誤吸入事故を防止する上で、JP二酸化炭素の【副作用】に「特別なものは知られていない」では、JP二酸化炭素に副作用がないと誤解しやすい形になっているので、社会的に危険であり、反公益的ではないかと告発するのも、本論文を書く理由である。端的に言えば、JP二酸化炭素そのものは医薬品いうよりも毒薬に匹敵するほど危険なことを、行政は社会に知らせる責任があるのではあるまいか。

JP二酸化炭素の解説では、著しい呼吸刺激作用の適用があるCO₂濃度を5~10%(酸素中)としているが、国際規格:ISO 7396, ISO 5359では7%未満CO₂ガスと7~100%CO₂ガスとをガス別特定(gas-specific)しているのは、両者が用途や使用方法が全く違うので、誤って接続しないようにするためである。JIS T 7101(配

管設備), JIS T 7111 (ホースアセンブリ)でも ISO に準じているが, 本邦ではまだ注目度が低く, 専ら JP 二酸化炭素のみが腹腔鏡手術, 開心術などに使われている現状である.

日本薬局方解説書では, 二酸化炭素の項目で, 現在本邦では余り使われていない適用・用法だけを示している. その場合での【副作用】に「特別なものは知られていない」という形になっているのかもしれないが, 高濃度の炭酸ガスの致死的に強力な中毒作用を無視して, 【副作用】に「特別なものは知られていない」と未だに書いてあるのも編集上のヒューマンエラーであろうか. JP 二酸化炭素の添付文書も同様である. これらを正しく指導・監督しない厚労省や PDMA に果たして本邦の医薬品の安全を指導する資格があるのか. これもまた, マジックのように皆が騙されている社会的なトリックではないのか. いや, むしろすでに慢性習慣病になっているので, 皆が鈍くなっている社会的な病根だとすれば, どうしたら学会の諸賢が目覚まして正してくれるのだろうか. 著者* の警告に少しでも注目していただければ幸いである.

最後に, 文献 27 については, 29 頁の図 15「本件事故に関する検証 (1)」のスライドの下半分に「(2) 酸素ポンベと CO₂ ポンベを取り違えた状況」のなかには, 酸素ポンベの存在を現場の誰かが認識した記録はない. もし, 黒色の酸素ポンベを見た人が現場におれば, それを使って事故にはならなかったはずであるから当然のことである. そこにあったのは, 緑色のポンベだけであって, それを酸素ポンベだと勘違いして持ってきて使ったら, 思いもかけずそれは CO₂ ポンベであったが, 誰もがその過ち行為に気付いた者はいなかったというのが, 実際のストーリーであるはずである. それを, 現場になかった黒色の酸素ポンベと現場にあった緑色の CO₂ ポンベを無意識のうちに取り違えたたと現場に居た誰もが思うことこそ, 立派なマジックであるとしか言いようがないではないか. そうなると, 標題の冒頭に「酸素ポンベ取り扱い事故」とあるのも「二酸化炭素ポンベ取り扱い事故」の間違いであることが明らかになるという次第である.

謝 辞

ほぼ 7 年間の長きに涉って終始著者* を支えて下さった本誌編集長 田中義文 京都府立医科大学大学院名誉教授に深甚なる感謝の意を呈する.

引用文献

1. 佐藤 暢: 二酸化炭素ポンベ誤用事故 (5) 特に従来の反応と医薬品ラベル等の問題点. 麻酔・集中治療とテクノロジー 2016, p72-86, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都, 電子版 2016. <http://www.jsta.net/pic/sato-5.pdf>
2. 佐藤 暢: 二酸化炭素ポンベ誤用事故 事故の原因解析の問題点とその経緯 (4). 麻酔・集中治療とテクノロジー 2015, p74 -80, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都, 2016. <http://www.jsta.net/pic/co2jikogenin-2.pdf>
3. 佐藤 暢: 二酸化炭素ポンベ誤用事故 何故まだ繰り返されるのか その経緯 (2). 麻酔・集中治療とテクノロジー 2012, p1-11, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都, 2013. <http://www.jsta.net/pic/kangae.pdf>
4. 高圧ガス保安法 容器保安規則 第十条
5. 佐藤 暢: 医療ガスポンベの識別色について. 日本医事新報 No.3891 76-78, 1998.
6. 佐藤 暢: 二酸化炭素ポンベ誤用事故 何故まだ繰り返されるのか その経緯. 麻酔・集中治療とテクノロジー 2011, p26-33, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都 2012. <http://www.jsta.net/pic/co2jikogenin-1.pdf>
7. ガスポンベの取り違い事故について. PMDA 医療安全情報 No.13. 医薬品医療機器総合機構; 2009.
8. 佐藤 暢: 医療用二酸化炭素 (炭酸ガス) ポンベを使っている方々へ (緊急提言)2013, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 HP. <http://www.jsta.net/pic/sato10.pdf>
9. 佐藤 暢: 二酸化炭素ポンベ誤用事故 何故まだ繰り返されるのか その経緯 (3) 緑色のポンベを酸素と誤認した事故を O₂ ポンベを CO₂ ポンベと取り違えた事故と見るのは誤りではないか? 麻酔・集中治療とテクノロジー 2013, p1-8, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都 2014. <http://www.jsta.net/pic/kannchigai.pdf>
10. 二酸化炭素ラベルの作成例. 医療用ガスポンベ誤認防止に関する取組みの徹底について (平成 28 年 6 月 1 日付). JIMGA 医発第 28-12. 2016.
11. Baxter PJ, Kapila M, Mfonfu D.: Lake Nyos disaster, Cameroon, 1986: the medical effects of large scale emission of carbon dioxide? BMJ. 1989; 298:1437-41.
12. Rice. S. A.: Human Health Risk Assessment of CO₂: Survivors of Acute High-Level Exposure and Populations sensitive to Prolonged Low-Level Exposure. Third Annual Conference on Carbon Sequestration 2004.
13. 山崎 元彦, Islam Mohammed Nasimul, 小椋 義明, 本田克也, 土橋均, 西岡裕: 二酸化炭素中毒の 1 剖検例. 日本法医学雑誌 1997. 51; 446-451.
14. 黒木 尚長, 山崎 元彦, 中村 正巳, 井上 裕匡, 飯野 守男, 的場 梁次 他: 二酸化炭素中毒の 1 剖検例と

- その発症のメカニズム．法医病理 2001. 7 ; 46-53 .
15. Dunford JV, Lucas J, Vent N, Clark RF, Cantrell FL : Asphyxiation due to dry ice in a walk-in freezer. *J Emerg Med.* 2009; 36:353-6.
 16. Gill JR, Ely SF, Hua Z : Environmental gas displacement: three accidental deaths in the workplace. *Am J Forensic Med Pathol.* 2002; 23:26-30.
 17. Kettner M, Ramsthaler F, Juhnke C, Bux R, Schmidt P : A fatal case of CO₂ intoxication in a fermentation tank. *J Forensic Sci.* 2013; 58: 556-8.
 18. 佐藤 寛晃, 田中 敏子, 笠井 謙多郎, 北 敏郎 : 船倉タンク内で二酸化炭素中毒により溺死した作業者の剖検例 . *産業医科大学雑誌* 2009; 31 . 353-358.
 19. Halpern P, Raskin Y, Sorkine P, Oganezov A : Exposure to extremely high concentrations of carbon dioxide: a clinical description of a mass casualty incident. *Ann Emerg Med.* 2004; 43:196-9.
 20. Rupp WR, Thierauf A, Nadjem H, Vogt S : Suicide by carbon dioxide. *Forensic Sci Int.* 2013 ;231: e30-2.
 21. Atkinson P, Langlois NE, Adam BJ, Grieve JH : Suicide, carbon dioxide, and suffocation. *Lancet* 1994 16; 344:192-3.
 22. Sautter J, Gapert R, Tsokos M, Oesterhelweg L : Murder-suicide by carbon dioxide (CO₂) poisoning: a family case from Berlin, Germany. *Forensic Sci Med Pathol.* 2014 ;10:97-102.
 23. Ikeda N, Takahashi H, Umetsu K, Suzuki T : The course of respiration and circulation in death by carbon dioxide poisoning. *Forensic Sci Int.* 1989; 41: 93-9.
 24. 二酸化炭素消火設備の安全対策について (平成 8 年 9 月 20 日通知) . 消防庁予防課長 . 消防予第 193 号, 消防危第 117 号 . 1996.
 25. 二酸化炭素消火設備による酸素欠乏症の防止について (平成 10 年 10 月 12 日付) . 労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課長 . 1998 . http://labor.tank.jp/saigai/101007syoukase_tubi.html
 26. 日本薬局方解説書編集委員会編 : 二酸化炭素 . 第 17 改正日本薬局方解説書 . C-3716-3719, 廣川書店 東京 2016.
 27. 多田恵一 : 酸素ガスボンベ取り扱い事故 : 麻酔学会安全委員における “ CO₂ 誤換気事故 ” 事故調査委員会報告書をもとに . *Medical Gases*, 2015.17(1) : 26-31.
- Key Words:**
炭酸ガス, 二酸化炭素, 高圧ガス容器, ボンベ, 取り違い, 勘違い, 医療用ガスボンベ, 緑塗色, 2 色塗装, 単純窒息性, 誤認, 厚生労働省, 手品, 医薬品医療機器総合機構 (PMDA), 日本薬局方, 高圧ガス保安法, 容器保安規則, Henderson-Hasselbalch equation, 急性炭酸ガス中毒症, 呼吸性アシドーシス, 中毒性アシドーシス, ボーア効果, ヒューマンエラー, 認知エラー, JIS T 7201, JIS T 7101, JIS T 7111, JISC
- 連絡先 :**
satotoru@orange.plala.or.jp
iino@med.tottori-u.ac.jp