

## 特別寄稿： 二酸化炭素中毒について

佐藤 暢\*，飯野守男†

### 第1部 日本薬局方解説書の二酸化炭素に関する記載について

著者らは、2016年の本誌<sup>1)</sup>で、第十七改正日本薬局方解説書<sup>2)</sup>の中の二酸化炭素(炭酸ガス、CO<sub>2</sub>)について「【副作用】特別なものは知られていない」の記述は間違いではないかと指摘した。また、窒素(N<sub>2</sub>)についても同じ記述があることを指摘した<sup>1)</sup>。

著者らが調査した範囲では、同解説書の第七改正(1961)以来約60年間にわたって二酸化炭素の副作用(有害作用)について特に記載がない状態が続いてきた。窒素の副作用についても同様である。そのため、二酸化炭素(炭酸ガス)<sup>1)</sup>は窒素と同じく不燃性であり、無毒・無反応で、特別な作用がない不活性なガス(inert gas)であるとの誤解が医療上生じている。その結果、二酸化炭素関連事故において、閉鎖空間でのCO<sub>2</sub>濃度が高くなると、その空間内のガス(空気)が炭酸ガスに置換されて酸素濃度が低下して酸素欠乏により死に至ると考えて、高濃度の炭酸ガスをヒトが吸入した際の毒性を見逃しているのではないかと警告した<sup>3)</sup>。

同方二酸化炭素は99.5vol%以上の濃度でCO<sub>2</sub>を含む気体である。一般的には「高濃度の二酸化炭素(炭酸ガス)」という表現が使われているが、炭酸ガスという物質自体の高濃度を意味するのではなく、炭酸ガスを高濃度に含む気体を指す。一概に高濃度と言っても漠然と幅広いので、ボンベや配管から噴出した、またはドライアイスから昇華した炭酸ガスを狭い空間で吸う程度のCO<sub>2</sub>

濃度を“格段に高濃度の”二酸化炭素と言うことにするが、80%(濃度)の二酸化炭素とは80%がCO<sub>2</sub>で残りの20%が窒素、酸素など他のガスを含む気体(ガス)を指すというように(v/v)%CO<sub>2</sub>濃度を測定して知ることが肝要である。なぜならば、CO<sub>2</sub>は濃度の変化がヒトの生命活動に直結する特別なガスであるからである。

更に注意すべきは、医薬品毎に、例えば「本品は食塩を0.9%含む」のように書き、大多数を占める医薬品では本品をそのまま処方して臨床に使える濃度を示すのに反して、本品(同方二酸化炭素)は99.5%以上の濃度であり、吸入に使う場合には安全な濃度(数%)にまで希釈しなければならない点である。

では、どの位のCO<sub>2</sub>濃度が酸素吸入療法で使われているのか。これについては、同解説書の【適用】には「酸素吸入に併用する場合には、純酸素に対して5~10vol%を混合する」との記述があった。

同様の記述は、治療薬に関する世界的な銘書<sup>4)</sup>の中で「二酸化炭素の使用法」にも見られた。しかし、次記の「治療法」では「かつて二酸化炭素は仮死状態の蘇生において非常に価値があるとされたが、仮死は既に二酸化炭素が蓄積された状態であるから決して二酸化炭素を使用することなく、併存する低酸素状態を治療するために酸素だけを使用するというのが現在の意見である。新生児の仮死を含む全ての仮死と昏睡の治療では、酸素による補助呼吸が十分に信頼できる」とあり、更に

\*鳥取大学名誉教授

連絡先: satotoru@orange.plala.or.jp

†鳥取大学医学部社会医学講座法医学分野

掲載許可日 2022年10月31日

<sup>1)</sup>ここでは、労働安全衛生法施行令、容器保安規則などに合わせて、気体状の二酸化炭素を炭酸ガスと記述することがある。また、H<sub>2</sub>Oを氷、水、水蒸気と言うように、CO<sub>2</sub>をドライアイス、液化炭酸ガス、炭酸ガスと、相の区別を示すためでもある。ただし、一般には二酸化炭素、CO<sub>2</sub>と物質名で記載する。

「10% CO<sub>2</sub> を吸入している患者では 10～15 分間で毒性症状 (耐えがたい呼吸困難, 嘔吐, 思考力喪失, 著しい血圧上昇) が現れることがあるので絶えず監視されていなければならない。肺水腫を合併する場合は, 5%以下を使用すべき」と「禁忌」の項で述べていた。ここで引用するのはかなり古い版 (1956) であるが, 当時の経緯がよくわかる。

二酸化炭素の毒性については, 米国の RTECS (Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 化学物質毒性登録) では, 「ヒトの二酸化炭素最小致死濃度が 10%で 1 分間, 9%で 5 分間」とされている<sup>1)</sup>。国内でも, 中央労働災害防止協会発行の「酸素欠乏作業主任者テキスト」第 3 版には, 二酸化炭素中毒の項に「7～10%に達すると, 数分間で意識不明となり致命的になる」とある<sup>5)</sup>。また, 消防庁からの通知では, 二酸化炭素を吸入した場合の症状として, CO<sub>2</sub> の「気中濃度が 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」と記している<sup>6)</sup>。

その後の調査で, 2021 年末に改正・発行された

第十八改正日本薬局方解説書<sup>7)</sup>の記述も第十七版<sup>2)</sup>と全く同じであることが判明した。そこで発行元 (廣川書店) の編集部にて二酸化炭素の使用法に関する専門書や消防庁通知の内容などを伝え, この事を修正すべきと提案したところ, 図 2 の正誤表に見られる 3 項目の修正が第十八改正日本薬局方解説書の正誤表に記載されるに至った。実際には, 株式会社廣川書店 (東京) のホームページで, 図 1 と図 2 に見ることができるが, 図 2 の正誤表は図 1 の「[正誤表はこちら](#)」から開ける正誤表全体の中から二酸化炭素に関する分だけをまとめたものである。

この修正は当解説書上の書き換えを最小限に留めたものであるため, 次期改正の折には本文の中で二酸化炭素の有害作用 (毒性) について本格的な書き替えとなることを期待する。

ここで留意すべきは, 図 2 の正誤表中の二番目の修正文句は, 局方二酸化炭素の添付文書【用法及び用量】から引用されたことである。現行の添付文書は 2014 年 11 月改訂以来使われているが, 近年電子化された添付文書が独立行政法人医薬品医療機器総合機構 (PMDA) に登録されて公文書



### 第十八改正日本薬局方解説書 - 条文・注・解説 -

価格	99,000円 (本体90,000円+税)
発売日	2021年12月
判型	B5判上製/5分冊
頁数	10,500頁
ISBN	978-4-567-01544-8
<a href="#">正誤表はこちら</a>	

図 1: 第十八改正日本薬局方解説書の発行元である株式会社廣川書店 (東京) の許可を得て, 同社のホームページからその正誤表 (図 2) へのリンク ([正誤表はこちら](#)) を示す。

第十八改正日本薬局方解説書 正誤表

(令和 3 年 12 月 4 日 初版発行)

二酸化炭素 (炭酸ガス)

頁	行	誤	正
C-3886	↑7	<b>副作用</b> 特別なものは知られていない。	削除
C-3886	↑3	酸素吸入に併用する場合には、純酸素に対して5～10vol%を混合する。	酸素吸入に併用する場合は通常純酸素に対して数%本品を混ぜる。
C-3886	↑1	追加	<b>その他</b> 注意点：二酸化炭素を高濃度に含むガスをヒトが吸入すると、その毒性により数分で致死的になることが知られている。したがって、本品（局方二酸化炭素）を直接吸入させることは避けること。

図 2：上記の正誤表は、発行元の株式会社廣川書店の許可を得て、第十八改正日本薬局方解説書 (図 1 参照) の第三分冊中の「二酸化炭素」についての分に限り纏めて掲載するものである。  
(注：行の数字の前にある ↑ は、下から上に数える行数を示す。)

として使用する制度になった。そこで、解説書の方を現行の添付文書にならって吸入に使用する二酸化炭素の濃度を「5～10%」から「数%」に修正したのは、安全性の上からも妥当なことであった。ところが、同添付文書には【主要文献】に「第十五改正日本薬局方解説書 p C2935-2940, 2006 廣川書店」とあるので、そこでの局方二酸化炭素についての記載は、2006 年に出版された第十五改正日本薬局方解説書に準拠して、本品 (局方二酸化炭素) の副作用については記載されないことになったものと思われる。

このような矛盾は、添付文書が制度化されるよりもずっと以前から発行されてきた日本薬局方解説書が (汎用性の高い基本的な医薬品についての公定品質基準書である) 日本薬局方と同様に歴史と権威があるものと考えられてきたが、そこでは局方二酸化炭素の副作用について特別なものは記載されてはいなかった。局方窒素についても同じであった。両者ともに 60 余年間も継承されてきたので、二酸化炭素は窒素と同様に (生きているヒトについて) 無毒・不活性 (inert) なガスであるかのように誤解され、液化炭酸ガスボンベに単純窒

息性ガスのマークを付けた歴史にも結び付く<sup>3)</sup>。この間の経緯について、出版元から以下の説明があった。

「日本薬局方解説書は日本の主要な薬学研究者から構成される日本薬局方解説書編集委員会によって監修されていますが、廣川書店の責任の下で作成されており、注・解説部分 (薬効薬理、副作用、適用等) につきましては、国はその作成に関わっておりません。日本薬局方解説書は添付文書が公的な文書として制度化される前から在り、関係者に公的なものと扱って頂くまでに信用を頂いておりますが、医薬品添付文書は公的文書ですので、日本薬局方解説書の解説部分は基本的には添付文書の記載内容に従うべきものと考えております。」

これにより、廣川書店の責任で正誤表 (図 2) に示す訂正が最新版の日本薬局方解説書について自主的になされた。また、添付文書が日本薬局方解説書を主要文献とする必然性が無くなったので、局方二酸化炭素の添付文書も、警告、禁忌事項を始め、本品の毒性について医療安全推進の上で必要な加筆・修正を考慮すべきと考える。

## 第2部 二酸化炭素の毒性について (CO<sub>2</sub> はヒトのエネルギー代謝からの排ガスである)

二酸化炭素の労働衛生上の許容濃度を、日本産業衛生学会は、5,000ppm (9,000mg/m<sup>3</sup>) と勧告している<sup>8)</sup>。そこでは「この許容濃度とは、労働者が1日8時間、週間40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に暴露された場合に、当該有害物質の平均暴露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響が見られないと判断される濃度である」と定義されている。これを具体的に考えると、週に2日の休日を含む168時間の内で5,000ppm (0.5%) 以下のCO<sub>2</sub>濃度下で8時間×5日働き、残りの128時間は普通の生活をしていれば健康上の問題は起きないが、0.5%を超えるCO<sub>2</sub>濃度の環境で働くと慢性的な中毒症状を起こす恐れがあることになる。

ところが、現行の局方二酸化炭素の添付文書では【取扱い上の注意】の中で「ガス漏洩時の注意」のところに「1) 二酸化炭素は空気よりも重く、低い場所に滞留し高濃度になりやすいので注意する。(二酸化炭素の許容濃度は5,000ppm)」の記載がある。その主要文献には「産業衛生学雑誌 vol.51, P102, 2009」とあるので、前記の労働環境の許容濃度と同じことであるが、それをCO<sub>2</sub>が漏洩した際の注意事項の中に挙げたのは何故であろうか。恐らくは、二酸化炭素は窒素と同様に無毒・不活性なガスであると考えてその毒性が公的に認められていないので、やむを得ず炭酸ガス漏洩の際の注意の後に置いたものと想像される。なぜならば、室内の炭酸ガス濃度が0.5%の環境で8時間ずつ週に5日間働く習慣性の場合と、炭酸ガスが漏洩した事故で低い場所を避ける偶発性の場合の注意とを結び付けるのは適当とは思えないからである。

いずれにしても主要文献とした日本薬局方解説書が前述したように修正されたので、局方二酸化炭素の添付文書も二酸化炭素の毒性について加筆

する必要がある。

なお、上記の二酸化炭素が5,000ppm (0.5%) 以下という労働衛生上の許容濃度は、米国のACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists:アメリカ合衆国産業衛生専門官会議) とNIOSH (National Institute for Occupational Safety & Health:国立安全衛生研究所) の勧告に準じたものであるが、多くの国々でも採用されて国際的な基準となっている。

二酸化炭素の急性中毒については幾多の報告があるが、著者らのCO<sub>2</sub>中毒死亡例についての調査では吸入したCO<sub>2</sub>濃度の最低は8%、酸素濃度の最低は17.1%であったので<sup>1)</sup>、死因は低酸素によるものではなく、CO<sub>2</sub>の濃度にあったものと推察される。今回は、7~10% CO<sub>2</sub>濃度のガスの吸入がヒトを致死的にする最低限の濃度に当たることについて説明し、急性二酸化炭素中毒の特性に迫りたい。

本質的に言えば、二酸化炭素は、空気を吸って酸素を消費しながら生きているヒトのエネルギー代謝から生じた排ガス (exhaust, いわゆる排気ガス) である。生体は、エネルギー代謝で内因性に生じたCO<sub>2</sub>を体外に常時呼吸で排出しなければならず、呼気には平均4.5%の、肺胞気には5.6%のCO<sub>2</sub>が含まれているので<sup>9)</sup>、それよりも分圧の高いCO<sub>2</sub>を含むガスを吸うと、呼気中にCO<sub>2</sub>を排出できないばかりか、肺胞から絶えず血液、組織液の方にCO<sub>2</sub>が拡散・浸透して体内に集積する一方となる。これが二酸化炭素中毒 (症) であり、遂には二酸化炭素による中毒死に至る。

窒息 (息が詰まってできない状態) により内因性のCO<sub>2</sub>を再呼吸する歩合が増す場合 (肺胞低換気) には、通常吸気中のCO<sub>2</sub>濃度は5%を超えないが、それでも30分後に頭痛やめまいの他、発汗するなどの中毒症状を呈す (表1)<sup>10)</sup>。もっとも、大勢の他人と閉鎖空間で過密に長期間過ごす

表 1

**二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の人体における影響**

CO <sub>2</sub> 濃度	人体への影響
360ppm	大気中の現在の濃度。(東京新宿の路上450ppm)
5000ppm	労働衛生上の許容濃度(1日8時間労働)。
18000ppm (1.8%)	換気を50%増加する必要があります。
30000ppm	呼吸困難にいたる。頭痛、吐き気、弱い麻酔性を伴う、視覚が減退し、血圧や脈拍が上がる。
40000ppm	換気を300%に増加する必要がある。頭痛が激しくなる。
50000ppm	30分後に毒性の兆候が現れ、頭痛やめまいのほかに、発汗する。
80000ppm	めまいがして、人事不詳の睡眠状態に陥る。
90000ppm	血圧が失われ、充血して、4時間後死ぬ。
100000ppm以上	視覚障害、けいれん、呼吸激しくなり、血圧が高くなって、意識が失われる。
250000ppm	中枢神経がおかされ、昏睡、けいれん、窒息死。

(東京消防庁提供の資料による)

3500ppm以下であれば十分

空間中の CO<sub>2</sub> 濃度が更に上がり酸素濃度は下がるので、相乗効果により重症化して息が大変苦しくなるので、これも窒息状態と呼んでいる。

一方で、外因性の炭酸ガスを吸入する場合には、酸素を消費するエネルギー代謝とは無関係で様相は全く異なり、吸気中の二酸化炭素濃度が当初から格段に高いためにごく短時間で中毒死に至る場合が多い。その代表的なものが99.5%以上の局方二酸化炭素の直接吸入事故である<sup>11)12)</sup>。産業用二酸化炭素も同じ濃度であるから、非常用消火設備の液化炭酸ガスボンベから放出された二酸化炭素を吸入すれば数分以内に意識を消失し、そのまま放置すると中毒死に至る。また、固体の二酸化炭素であるドライアイスが昇華する場合でも、閉鎖空間中の二酸化炭素濃度が急速に上昇するので、その場で意識を失ったまま急性二酸化炭素中毒で死亡する事例<sup>1)13)</sup>が少なくない(厚労省の「職場

のあんぜんサイト」にある「化学物質による災害事例」の中で原因物質が「二酸化炭素(炭酸ガス)」の欄では、18例中6例がドライアイスによるもので一番に多い)。

二酸化炭素はヒトの血液・組織液に、酸素の約20倍の速さで多量に溶け込んで運ばれ、血液・組織液のpHを弱アルカリ性(7.4 ± 0.5)に保つ重要な緩衝作用がある。吸気中の二酸化炭素濃度が高くて血液への溶け込みが多いとアシドーシスが進行し、重症化する(Henderson-Hasselbalch equation 参照<sup>1)</sup>)。これは窒素や酸素にはない作用で、二酸化炭素特有の人体に対する活性である。すなわち、二酸化炭素は細胞の生活環境であるpHを支配しており、それが乱れると直ちに細胞の機能も乱れるという毒性につながる。この作用が、呼吸不全で体内に生じた二酸化炭素を十分に肺から排出できない状態、すなわち窒息状態から起これ

ば呼吸性アシドーシスの病態であるが、液化炭酸ガスのボンベや医療用または消火設備のCO<sub>2</sub>配管、またはドライアイスなどからの格段に高濃度の二酸化炭素を吸入して肺胞壁を拡散・浸透して一方的に二酸化炭素が体内に蓄積する場合は、呼吸による換気とは病態が異なる(肺をCO<sub>2</sub>が通過する方向が生理的とは逆である)ので、著者らはこれを「中毒性アシドーシス」と呼んで区別することを提案している<sup>1)</sup>。これは外因性の急性二酸化炭素中毒に特有な病態である。

この点では、引用文献10から上図だけを引用した表1の中で、250,000ppm CO<sub>2</sub>濃度の人体への影響として「窒息死」とあるのは、「中毒死」に当たるのではないか。窒息による内因性二酸化炭素の再呼吸による蓄積では、吸気中のCO<sub>2</sub>濃度が25%までも上がらないから、外因性の二酸化炭素中毒死と考えられる。

二酸化炭素は生体内で常時発生し存在する生理的なガスでもある。しかし、その働きが生理的である範囲の上限は、吸気中の二酸化炭素の濃度が肺胞気や終末呼気のCO<sub>2</sub>レベルから考えて7%位までと思われるが、生理的なガスであるが故に訓練や生活習慣・生活環境などによっても個人差が大きい。一方で、その下限は、二酸化炭素を含まない純酸素または人工空気でも呼吸さえ管理すれば無害であるから、0%まで生理的である。この点では、生理的範囲と純炭酸ガスを吸った場合の濃度差を約三千倍と表現したことがあるが<sup>3)</sup>、それはCO<sub>2</sub>の強い毒性を示すためには意味がない。二酸化炭素は元来エネルギー代謝で常時体内に発生する排ガスであり、吸気中に存在する必要はないからである。これこそ、二酸化炭素独特な活性であり、生理的な範囲では最重要な働きをする必須のガスでありながらも、10%を超えて過剰になれば無比な毒性をもつ致死的ガスに変容する。

従って、ビールやサイダーなどの炭酸飲料を飲む時に吸収される二酸化炭素も、腹腔鏡手術で腹腔内に注入する二酸化炭素も、CT画像を見やすくするために腸管内に注入する二酸化炭素も、血

液・組織内に入った後で肺から容易に排出できることを前提に使用されている。更に、中毒症状を起こした後でも二酸化炭素が肺から迅速に排出されて生理的レベルに戻ることができれば、後遺症無くして比較的早く機能回復できる可能性が高い。つまり、急性二酸化炭素中毒による呼吸・循環・神経系などの変化が機能的であれば、酸素による人工呼吸に加えて、ECMOの使用、アシドーシスの補正などを早期から積極的に行えば、蘇生効果の向上が期待できる。

ちなみに、二酸化炭素の中毒死を行った動物実験では、気管挿管した大型犬(覚醒中)での実験において、80% CO<sub>2</sub> + 20% O<sub>2</sub> および 50% CO<sub>2</sub> + 50% 空気の吸入で1分経過頃から起きる急激な呼吸・循環系の変化は低酸素によるものではなくて、急性二酸化炭素中毒による機能的な障害であることが証明されている<sup>14)</sup>。

本邦での一番の難題は、二酸化炭素は窒素と同じく人体に無毒で不活性であるという誤った考えから、旧労働省時代の1980年に制定された「労働安全衛生法施行令」の「別表第6 酸素欠乏危険場所」に「10 ドライアイスを使用して冷蔵、冷凍又は水セメントのあく抜きをおこなっている冷蔵庫、保冷貨車、保冷貨物自動車、船倉又は冷凍コンテナの内部」と「11 ヘリウム、アルゴン、窒素、フロン、炭酸ガスその他不活性の気体を入れてあり、又は入れてあったことのあるボイラー、タンク、反応塔、船倉その他の施設の内部」が未だに残っていることである。

ここでの問題は、不活性の気体とは化学的に安定して反応性に乏しいガスを言うが、生きているヒトに対しての活性の有無と混同してはならないことである。例えば、典型的な不活性ガスであるキセノンには臨床で使える程度の麻酔作用があり、また、二酸化炭素はCO<sub>2</sub> narcosisを起こすこともよく知られていることから見ても、CO<sub>2</sub>はヒト(生体)に対して(不活性ではなくて)明らかに活性であり、二酸化炭素の濃度が高過ぎると有害となる。

酸素欠乏危険場所では、酸素濃度が18%以下に下がるのを異常として、危険を知らせる警報付き酸素濃度測定器で常時測定し、警報が鳴ればいち早く酸素欠乏危険場所から退避するよう指示するのであるが、(例えばドライアイスの昇華で)炭酸ガス濃度が異常に高くなる危険な場所(二酸化炭素中毒危険場所)での二酸化炭素中毒事故の防止には役立たない。そこで、二酸化炭素中毒危険場所では、室内の比較的低い場所で炭酸ガス濃度を連続測定して、ある程度高い濃度になると警報を発するような二酸化炭素測定装置を設置するように政令の改正を(10項全体の削除と、11項から「炭酸ガス」の削除も含めて)行う必要がある<sup>3)</sup>。

また、万一労働安全衛生法施行令の「別表第6酸素欠乏危険場所」の10項と11項の修正が難しい場合でも、室内・区画内の二酸化炭素の濃度を連続測定し、ある程度高くなると警報を発していち早く異常事態から退避できるように、二酸化炭素中毒危険場所の設備改善を急ぐことを強く要望する。

同じ労働安全衛生法の関連でも、労働安全衛生規則では、炭酸ガス濃度が1.5%を超える坑内は有害であるから立ち入らないように規制し、定期的にその濃度を測定することを求めている。著者らは、これを労働安全衛生法施行令第21条で定める坑内の作業場に限らず、広く二酸化炭素の濃度が一定以上に高くなる危険のある場所(二酸化炭素中毒危険場所)に適用することを薦めたい。CO<sub>2</sub>の測定濃度が1.5%以上であれば異常と見なす警報でその場から退避すれば、安全に対処できると考える。炭酸ガスは空気より重いので、CO<sub>2</sub>センサーを比較的低い場所に設置して連続測定できるモニターが適当であるが、現場に即した工夫が必要であろう。

ちなみに、1.5% CO<sub>2</sub>ガスは、文科省告示の学校環境衛生基準で換気の基準としても使われている。

## おわりに

二酸化炭素は、エネルギー代謝で酸素を消費し

ながら体内で生じる唯一の排ガスである。それが血液・組織液のpHを弱アルカリ性に保つために最も重要な生理的ガスでありながらも、体内で過剰に蓄積した際の病状は多彩である(表1)。

窒息(息が詰まってできない状態)で肺の換気が障害され(肺胞低換気)二酸化炭素の体外への排出が妨げられて体内に蓄積した二酸化炭素の量が過剰になった状態(高二酸化炭素(血)症 hypercarbia, hypercapnia)では、呼吸性アシドーシスを伴う二酸化炭素中毒になる。

一方で、液化炭酸ガスボンベからの二酸化炭素を吸入した事故の場合や、ドライアイスから昇華した二酸化炭素を吸入する事故の場合などは、外因性の急性二酸化炭素中毒で、吸入する二酸化炭素濃度が格段に高いために中毒性アシドーシスが激化して急性二酸化炭素中毒死に至る。吸気中の二酸化炭素が7~10%でも短時間で死亡する恐れはあるが、格段に高濃度の二酸化炭素を含む気体を吸入すると、肺胞壁を拡散・浸透して血液・組織液へ溶け込む二酸化炭素の速さが分圧差に比例して急増するので、一方的に体内に蓄積して急速に劇症化する。

著者らは閉鎖空間内の二酸化炭素濃度が1.5%以上になると異常事態として警報することにより早急に退避するよう勧告することを提言する。更に二酸化炭素濃度が10%に高まると空気と置換して酸素濃度が(90% × 21% = 18.9%)下がるが、低酸素で心停止する程には下がらないので<sup>15)16)</sup>、低酸素血症ではなく二酸化炭素中毒で死亡する恐れがあることに留意すべきであると結論する。

更に詳しく言及すれば、窒息死にも、ホスゲンのように肺水腫を起こす窒息性のガスの場合と、二酸化炭素のようにガス自体は窒息性でないのに気道閉塞などの窒息による場合が殆どであることや、平素は無害で生理的なガスである二酸化炭素が体内で過剰になれば有毒化して中毒死に至る危険なガスであることを特筆したい。吸気中の二酸化炭素濃度が更に上昇すれば置換により低酸素により強く傾くのは当然で、両者は相乗作用を来



して心停止に至る。血液循環が停止すれば組織が無酸素状態になるのも必然であるが、その場合であっても、死因をもっとも早い時期に強い循環系の異常を来す原因となった二酸化炭素に求めるのが当然ではないかと考える。

## 引用文献

1. 佐藤 暢, 飯野守男: 厚労省も陥ったか, ヒューマンエラーと二酸化炭素にまつわる謎. 白神豪太郎, 橋本悟, 田中義文 編, 麻酔・集中治療とテクノロジー 2016, p87-96, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都, 2017.  
<http://www.jsta.net/pic/magic.pdf>
2. 日本薬局方解説書編集委員会: 第十七改正日本薬局方解説書 第三分冊, 二酸化炭素 p C-3716-3719, 廣川書店 東京, 2016.
3. 佐藤 暢, 飯野守男: 厚労省も陥ったか, ヒューマンエラーと二酸化炭素にまつわる謎 (続). 岩瀬良範, 橋本悟, 田中義文 編, 麻酔・集中治療とテクノロジー 2017, p118-125, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都, 2018.  
<http://www.jsta.net/pic/magic-2.pdf>
4. Goodman LS, Gilman A: The Pharmacological Basis of Therapeutics. 2nd ed. p917-921, Macmillan Co, New York, 1956.
5. 中央労働災害防止協議会: 酸素欠乏危険作業主任者テキスト 第3版, 二酸化炭素中毒. p 34-35, 中央労働災害防止協会, 東京, 2017.
6. 消防庁二酸化炭素消火設備安全対策委員会: 二酸化炭素消火設備の安全対策について. 消防予第183号, 消防危第117号, 1996.
7. 日本薬局方解説書編集委員会: 第十八改正日本薬局方解説書 第三分冊, 二酸化炭素 p C-3883-3886, 廣川書店 東京, 2021.
8. 日本産業衛生学会: 許容濃度の勧告 (2021年度) 化学物質の許容濃度. 産衛誌 63(5): 179-211, 2021.
9. Fulton, JF 編: Textbook of Physiology. 16th ed. p801, W.B. Saunders Co. Philadelphia, 1950.
10. 沖縄二酸化炭素削減推進協議会: 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の人体における影響 (表). 沖縄.  
<http://nonrisk.co.jp/co2jintai-eikyuu.pdf>
11. 佐藤 暢: 二酸化炭素ボンベ誤用事故 事故の原因解析の問題点とその経緯 (4). 橋本悟, 田中義文 編, 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>
12. 佐藤 暢: 二酸化炭素ボンベ誤用事故 (5) 特に従来の対応と医薬品ラベル等の問題点. 白神豪太郎, 橋本悟, 田中義文 編, 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, 2017.  
<http://www.jsta.net/pic/sato-5.pdf>
13. 黒木尚長, 山崎元彦, 中村正智巳, 井上裕匡, 飯野守男 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 7: 46-53, 2001.
14. Ikeda N, Takahashi H, Umetsu K, Suzuki T: The course of respiration and circulation in death by carbon dioxide poisoning. Forensic Sci Int, 41:93-99, 1989.
15. 内藤浩史: 中毒百科 - 事例・病態・治療 - (改訂第2版). 二酸化炭素. p181-186, 南江堂 東京, 2001.
16. 内藤浩史: 二酸化炭素 その1. 中毒研究 31(4): 373-385, 2018.

## Key Words

二酸化炭素中毒, 炭酸ガス, 窒息, 不活性ガス, 日本薬局方解説書, 添付文書, 局方二酸化炭素, 労働安全衛生法施行令, 酸素欠乏危険場所, ドライアイス, CO<sub>2</sub>