

教室内二酸化炭素濃度の上昇と生体内酸塩基調節指標としての尿pH —教室窓（開口部）開閉時の比較—

森 口 哲 史〔鹿児島大学教育学部（保健体育）〕・高 城 勇 太〔鹿児島大学大学院教育学研究科〕
坂 元 達 哉〔鹿児島大学大学院教育学研究科〕・黒 光 貴 峰〔鹿児島大学教育学部（家政教育）〕

Relation between the Rise of CO₂ Concentration in the Classroom and Urinary pH as Index of Human Acid-base Balance

MORIGUCHI Tetsushi・TAKI Yuta・SAKAMOTO Tatsuya・KUROMITSU Takamine

キーワード：教室内炭酸ガス、炭酸ガス吸入、酸塩基平衡、尿pH

1. はじめに

大気中の二酸化炭素濃度は、地球上空において毎年1.6ppm程度づつ増加していると報告されており、上空10-20km地点では360-370ppm濃度が示されている¹⁾。我々の生活圏では、さらに高い濃度の二酸化炭素が観察されている。友田ら²⁾の経年的な測定結果をみると、外気については550ppmから1400ppmという値が報告されており、主に大都市部における交通量の多い道路、トンネル内などで観測されている。室内においては、地下街、地下鉄駅構内、映画館等で1000ppmを超え、人で混雑した地下鉄車内、窓を閉め切った車内などでは、3000ppmから5000ppmを超えるとされる。すなわち、生活圏における二酸化炭素は、外気においては主に自動車排気ガス、産業活動などの影響で上昇し、室内においてはヒトの呼気、暖房機器などの影響により上昇する。一方、学校などの教育機関では、多くの児童・生徒・学生が比較的閉鎖された環境に一定時間集まることから、室内の空気環境の悪化が懸念される。わが国では平成21年4月から施行された学校保健安全法第6条の中で、学校環境衛生基準が定められている³⁾。その中で、室内換気の総合的指標として二酸化炭素濃度が定められており、1500ppm以下が望ましいとされている。教室内の炭酸ガス濃度に関する多くの先行報告では、校舎・教室内の諸条件により基準値（1500ppm）以上に上昇することが知られている⁴⁻⁷⁾。校舎の構造や気密性の問題⁴⁾、季節間変動⁵⁾⁷⁾、開口部開閉状態および暖房使用⁴⁾⁵⁾などの影響を受けながら、適切な換気

が行われない場合には、先行研究のほとんどで学校基準値の1500ppmを上回る時間帯が存在する。中には4000ppm-5000ppmを超える高濃度環境も報告されていた⁶⁾⁷⁾。しかしながら、このような高濃度二酸化炭素環境下であっても、子どもたちの人体に与える影響に関する調査報告はほとんどみられない。これには、一般的に認識されている二酸化炭素の人体影響が10000ppm以上とされ、身体異常としては40000ppmを超えて生じるとされる理由がある⁸⁾。すなわち、健康レベルにおける現状は、二酸化炭素については安全範囲であると解釈されている。友田は、1990年代より東京都新宿区の生活圏レベルにおける大気中炭酸ガス濃度上昇と、そこで生活する医学生の重炭酸イオン（HCO₃⁻）排泄の実態を明らかにしている²⁾⁹⁾。さらに、いくつかの閉鎖環境下に滞在した被験者の尿中電解質成分を分析した結果、本来は腎臓近位尿管管ですべて再吸収を受けるはずのHCO₃⁻を多量（数十mmol/l）に検出した。そしてこの物質が急性に尿pHをアルカリ化させる要因であると発表した²⁾⁹⁾¹⁰⁾。この現象は、生体内における酸塩基平衡調節によりおこるものであり、血液内での過剰な酸の緩衝、アルカリの漏出を推測させるものであろう。千ppmから数千ppm程度の二酸化炭素吸入による生体反応をみるには、簡便かつ安全な方法でもある。しかしながら、現在までに学校現場における教室内二酸化炭素増加とその教室内滞在者の尿成分を観察した研究は国内外においてみられない。

そこで本研究の目的は、教室内炭酸ガス濃度の

上昇に伴って教室内滞在者の尿pHに急性変化があるかどうか、教室の窓（開口部）開閉時の温熱環境、二酸化炭素濃度、教室内微風速などを比較しながら実験的に検討することを目的とした。

2. 研究方法

(1) 測定教室

鹿兒島大学教育学部第一、第二講義棟の2室（A室、B室）において、講義中の室内外温熱指標、室内炭酸ガス濃度、室内微風速の測定を行った。A室、B室はそれぞれ棟の2階、4階に位置しており、容積はそれぞれ、327m³、293m³であった。外気と直接的に接する窓（開口部）は、両室共に左右面（B室は後面も）に位置しており、窓をすべて開口した場合には、総壁面積に対してA室が10.2%、B室は17.2%が外気に開放された。両室ともに角部屋に位置していたため、廊下と接する面は出入り口のみであった。測定時は、教室内の換気装置やエアコンディショナー等は一切使用しなかった。なお、測定日には、A室に54名、B室に45名の受講生および調査員1名、教員1名が入室した。

(2) 測定期間

教室内外環境の測定は、平成22年、平成23年の4月から7月の間に計14日間の調査日を設けた。内訳は平成22年度に8日間、平成23年度に6日間であった。測定時間は、測定前の二酸化炭素蓄積を避けるために、第1講義時刻に合わせた朝8時50分から10時20分であった。測定終了時間は、学生移動（退室）の影響が考えられたために、講義終了10分前の10時10分（80min. 後）とした。

(3) 対象

本研究の対象者は、平成22年度、平成23年度に鹿兒島大学教育学部で開講された「公衆衛生学」を受講した保健体育、健康教育、養護教育を専攻する学生99名（3-4年生）であった。平成22年度にはB教室において47名の入室状態において、平成23年度にはA教室において56名の入室状態で測定を行った。そのうち、1名は調査員、1名は講義担当教員であった。気積はそれぞれ、A室が

5.8m³/人、B室が6.2m³/人であった。さらに、99名中32名の健康な男子学生の同意を得て、講義前後の採尿を行った。採尿は、朝8時50分直前に1回目、講義終了後10時20分過ぎに2回目を行った。32名の被験者には、尿量を確保する目的で講義中の飲水のみ許可した。採尿する被験者の教室内における配置は特に指定しなかったが、偏りが無いように前後左右・中央の座席に配置されるよう留意した。入室中に飲水以外の飲食、身体活動などは一切行わせなかった。

(4) 測定項目

教室内外の環境測定

教室内においては、アウグスト乾湿計を用いて室温（℃）と相対湿度（%）、黒球計を用いて輻射熱（℃）を測定した。教室内の炭酸ガス濃度の測定は、ガス検知管（真空法100ml・北川式、光明理化学工業、神奈川）を用いて、ガス採取器（Gastec 801）により教室中央部床上1m付近の空気を吸引して測定した。微風速の測定は、方向の一定しない弱い気流を測定することを目的とし、カタ寒暖計を用いた。カタ寒暖計球部を50-70℃の温湯で温め、アルコールを上端安全球の1/2を満たすまで上昇させた後、アルコールが38℃を通過した瞬間から35℃を通過するまでの冷却時間を測定した。さらにカタ常数、乾球計の室温から室内微風速（cm/sec.）を算出した。一方、外気の温熱指標、風速は、鹿兒島地方気象台気候統計値により、朝8時50分から10分毎の気温、湿度、風速等を記録した。

生体における酸塩基平衡調節の指標

簡便な生体内二酸化炭素動態を推測する方法に尿中重炭酸イオン濃度の測定がある^{2,9,10,14)}。これは友田により尿pHと極めて高い相関関係が示されていることから、尿pHが重炭酸イオン排出によりアルカリ化することが一般化されている。本研究では、教室内炭酸ガスの生体に対する影響を調査するために、教室内で受講した99名中32名の尿を講義前後に採取して、そのpHを測定した。採尿後は、尿がなるべく外気に触れないよう直ちに密封し、速やかに尿pHをDigital pH meter

(ATAGO, 東京) を用いて測定した。検体の分析は、採尿後2時間以内に行った。

(5) 測定手順

測定教室の窓（開口部）閉鎖時と窓（開口部）開放時の二つの条件で測定を行った。閉鎖時測定（CL測定）は、8日間（平成22年度に4日、平成23年度に4日）、開放時測定（OP測定）は6日間（平成22年度に4日、平成23年度に2日）を行った。CL測定、OP測定の両条件において、講義開始20分前（朝8時30分頃）から窓（開口部）をすべて開放し、自然換気が行われる状態を確保した。CL測定日は、受講者が入室した8時50分に窓（開口部）をすべて閉鎖し、講義終了の10時20分までその状態を維持した。OP測定日は、講義前から講義終了の10時20分まで窓（開口部）はすべて開放した。すべての測定日において、教室内の換気装置、エアコンディショナー等は一切使用しなかった。

教室内の環境測定は、すべて教室内中央部、床上1m付近で行った。室内の室温、湿度、輻射熱は、8時50分（CON）から10分毎に10時10分（80min.）まで測定した。室内炭酸ガス濃度は、講義前（CON）から10分毎に10時00分（70min.）まで測定した。室内微風速測定は、平成23年度にのみ4日間行った。CL測定日、OP測定日にそれぞれ2日間測定し、9時00分から15分間隔で10時00分まで行った。カタ寒暖計の測定精度の安定を図る上で15分間の間隔を設けた。

被験者は、CL測定日、OP測定日の両条件において講義前後に採尿を行った。講義直前（8時50分前）に1回目の採尿を行い、その後、教室に入室して90分間着席し、講義終了後（10時20分過）に2回目の採尿を行った。その間、尿量を確保する目的で水のみを摂取させた（自由飲水とした）。

(6) 分析および統計処理

測定データの分析は、鹿児島大学教育学部衛生学研究室にて行った。本測定で得られた数値は全て平均±標準誤差（SE）で示した（微風速のみ4日間すべての実測値）。室温・湿度変化につい

ては、各々測定日の講義前値が異なったため、ベースライン値（CON）からの変化量（ Δ C）で提示した。CL測定、OP測定の二条件で得られた測定値の経時変化については、二元配置分散分析を行い、交互作用検定の結果、二条件下でデータの変動パターンが有意に異なった場合には多重比較（Bonferroni）を行った。測定値の関連性を検討する場合には、Pearsonの積率相関係数を算出した。有意水準は全て $p < 0.05$ とした。統計ソフトはSPSS Ver. 12を用いた。

3. 結果

CL測定日およびOP測定日の外気温および教室内気温について、図1、2に示した。

まず外気温（図1）について、CL測定日の外気温は緩やかに上昇し、測定時間内の最大変化量は $1.02 \pm 0.46^\circ\text{C}$ であった。この気温上昇は有意な変化ではなかった。また、OP測定日でも外気温の上昇はほとんどみられず、変化量の最大は $0.31 \pm 0.44^\circ\text{C}$ であった。この二条件ではすべての時間帯において有意な相違は認められなかった。

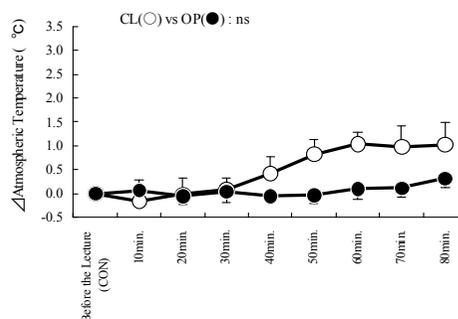


図1 調査時間の外気温度(°C)

教室内気温（図2）については、CL測定日においてのみ顕著な気温上昇が認められた。講義開始から10分経過時にはCONから $1.16 \pm 0.21^\circ\text{C}$ 気温が上昇し、20分後には $1.97 \pm 0.12^\circ\text{C}$ の有意な上昇がみられた。最大変化量は講義開始から80min.後に $3.07 \pm 0.13^\circ\text{C}$ の有意な上昇であった。一方、OP測定日では緩やかな気温上昇は認められるものの、統計学的に有意な上昇ではなかった。OP測定日の最大変化量は講義開始80min.後の $0.91 \pm 0.15^\circ\text{C}$ であった。二元配置分散分析の結果、窓開閉と経過時間との間には交互作用が認め

られた。すなわち、窓開放と閉鎖では室温の上昇パターンが異なっており、窓を閉鎖していた場合では、有意に室内温が上昇することが示された。二条件の室温変化量の最大差は約2.3℃であった。

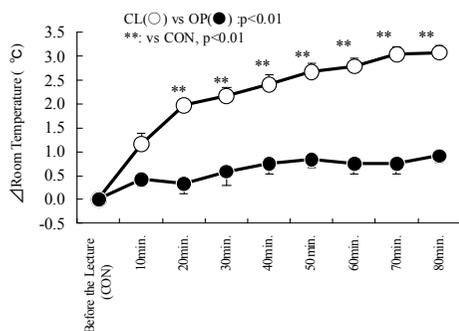


図2 調査時間の教室内温度(°C)

教室湿度(%)についても、CL測定日においてのみ有意な湿度上昇が認められた(図3)。OP測定日との間に交互作用が存在し、二条件の湿度変化パターンは異なっていた。変化量の最大は、CL測定日で $4.1 \pm 1.6\%$ 上昇、OP測定日で $2.5 \pm 1.9\%$ の減少であった。両条件とも講義開始から80min.後であった。

また、室内輻射熱については、教室気温と高い相関関係を示した(CL測定: $r=0.984$ $p<0.01$, OP測定: $r=0.950$ $p<0.01$)。乾球温度との差は、CL測定で、 $\pm 0.9^\circ\text{C}$, OP測定で、 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ の学校環境衛生基準範囲内であった(輻射熱の変動については図示せず)。

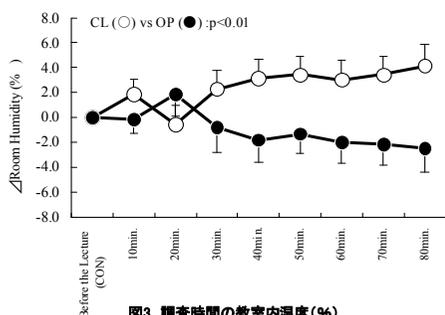


図3 調査時間の教室内湿度(%)

教室内の炭酸ガス濃度の変化について、図4に示した。CL測定日の平均炭酸ガス濃度は経時的に直線的な増加を示しており、CON値 465 ± 5 ppmから10min.後には 1156 ± 72 ppmにまで有意に上昇

した。その後も直線的な増加を示し、30min.後には学校環境衛生基準を超える 1562 ± 211 ppm, 70min.後には 2538 ± 126 ppmにまで達した(最大値2900ppm)。一方、OP測定日の平均値は、講義開始10min.時に 691 ± 149 ppmに上昇したものの、その後は大きな変動を示すことなく、630ppmから690ppmの間で推移した。外気濃度(450ppm以下)に比べると僅かに高い濃度での変動であった。二元配置分散分析の結果、窓閉鎖と経過時間との間には交互作用が認められた。窓開放時と閉鎖時では室内炭酸ガス濃度の上昇パターンが異なっており、窓を閉鎖していた場合では、窓開放時に比べ有意に室内炭酸ガス濃度が上昇することが認められた。

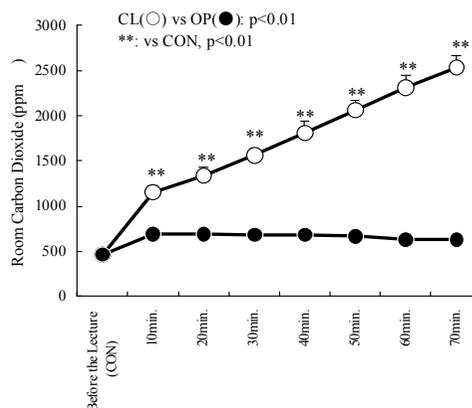


図4 教室内炭酸ガス濃度変化(ppm)

教室内の微風速について、図5に示した。CL測定日の教室風速は殆ど検出できず、測定時間中に一度だけ2cm/sec.の微弱な気流が測定された。一方、OP測定日の教室平均風速は 16.5 ± 4 cm/sec.(2cm/sec.から45cm/sec.)であり、すべて学校環境衛生基準(50cm/sec.)範囲内であった。同時刻に鹿児島地方気象台から発表された市内観測点での風速との関連性は認められなかった。

教室内に滞在していた被験者の尿pHの変動について、図6に示した。OP測定時において、教室内に滞在した被験者の尿pHは、講義前 6.07 ± 0.11 から講義終了後 6.18 ± 0.12 へと僅かに増加した。しかしながら、この増加は統計的に有意な変動ではなかった。一方、CL測定時における被験

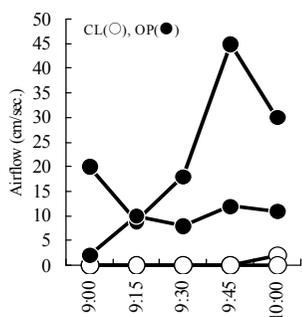


図5 教室内微風速 (cm/sec.)

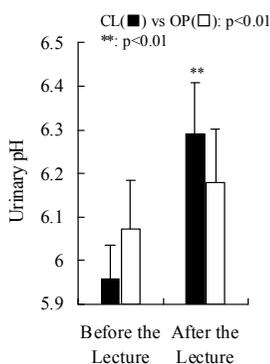


図6 教室内滞在者の尿pHの変化

者の尿pHは有意な増加を示した。すなわち、講義前 5.95 ± 0.07 から講義終了後 6.29 ± 0.11 へと有意に増加した。二元配置分散分析の結果、窓開閉の条件により、教室滞在者の尿pHの変化パターンが異なることが認められた。個別事例をみると、講義前の尿pH5.4から講義後の尿pH7.5までアルカリ化したものも存在した。

4. 考察

本研究は、教室内炭酸ガス濃度の上昇に伴って教室内滞在者の尿pHに急性変化があるかどうか、教室の窓（開口部）開閉時の温熱環境、二酸化炭素濃度、教室内微風速などを比較しながら検討することを目的とした。教室滞在者1人あたりの気積にほとんど差がない大学内二つの教室を対象教室とし、窓（開口部）開閉時の二条件における室内温熱環境、二酸化炭素濃度、微風速を観察しながら、教室内滞在者の講義前後の尿pH変化を比較した結果、窓閉鎖条件（CL測定）と窓開

放条件（OP測定）では、教室内二酸化炭素濃度および滞在者尿pHの変化パターンが有意に異なることが明らかとなった。すなわち、CL測定では、室内二酸化炭素濃度が2500ppmを越え（70 min. 後平均）、この条件でのみ、教室内滞在者の尿pHが有意に上昇した。

まず、温熱指標、微風速の変動については、CL測定日において教室内気温、湿度は有意に上昇した。測定時間中の最大変化量は 3.5°C （気温）、 4.1% （湿度）の上昇であり、OP測定日では 1°C 以内の気温上昇に留まった。この室温上昇は、測定時間が午前中であったことから外気温上昇の影響と、教室内発熱物が他に考えられないため、人体放熱の影響と推察される。輻射熱は乾球より若干低値で推移し、室温と極めて高い相関関係を示した。室内換気は、教室内外温度差および風向風速の影響を大きく受けるが、CL測定では教室内気流もほとんどゼロであった。CL測定の室温上昇は、教室内発生熱がうっ滞した結果と考えられる。角舎らの報告⁶⁾でも、本研究と同時期、同時帯の教室内密閉・換気無し条件においては、室温変化量 3.9°C （2日間の最大差平均）が示されていた。

一方、二酸化炭素濃度の変化については、CL測定日の平均炭酸ガス濃度は経時的に直線的な増加を示した。講義開始30分後には学校環境衛生基準である1500ppmを超え、70min. 後には2500ppmにまで達した。OP測定日の平均値は、最大で691ppmに上昇したものの、その後は大きな変動を示すことはなかった。教室の窓をすべて開放してもCONに比べて200ppm以上上昇した。この両条件下では、室内炭酸ガス濃度上昇パターンが異なっており、窓を閉鎖していた場合には、窓開放時に比べ有意にガス濃度が上昇することが認められた。多くの研究において、教室内の二酸化炭素濃度が学校環境衛生基準値（1500ppm）以上に上昇することが報告されている。より気密性の高い校舎構造であればより自然換気能が低下し⁴⁾、暖房使用が多くなる冬季には年間で最も高濃度の二酸化炭素測定値が報告されている⁵⁾⁷⁾。先行研究によって教室内二酸化炭素濃度の程度に幅があるが、窓（開口部）が閉鎖状態であっても、構造物

の状況や滞在者人数（気積）、外気の風向風速の状況により測定値は異なってくるからであろう。厳密に考えると、室内滞在者の呼吸活動の状況によっても差が生じるものと思われる。本測定条件と比較的類似した測定条件で行われた角舎らの実験的研究（教室環境252m³、成人40-47名滞在）では、教室密閉時の二酸化炭素濃度は、開始30分後には1500ppmを超えており、最大で3170-5135ppmの高濃度を検出している⁶⁾。これは、本結果とほとんど同様の経時変化である。角舎らの実験条件の気積は、本研究に比べて小さかったので（最小5.6m³/人）、若干の濃度差が出たのかもしれない。現在までに、二酸化炭素濃度を基準値内に維持するためには、小学校を対象とした通常クラスでの換気回数算出において、1500ppmとすると2.3回-3回/時、1000ppmとすると5.5回/時と提案されている⁴⁾⁵⁾¹¹⁾。

生活圏レベルで推移する程度の二酸化炭素濃度がどのような人体影響を持つかという問題について、近年検証されることはない。生理学的には10000ppm以上の濃度で身体的影響がでるとされており、数万ppmという濃度にヒトが接することに注意は注がれていない。1986年8月、カメルーンNyos湖における大量の二酸化炭素放出によって1500名以上の犠牲者がでたこと、国内では1997年7月、青森県八甲田山田代平の窪地で3名の自衛隊員が二酸化炭素中毒により死亡した例は、高濃度二酸化炭素の危険性を示す有名な事件でもある。さて、本研究ではCL測定において、被験者の尿pHが有意に上昇してアルカリ化した。実験環境上、教室内において2500ppmを超える二酸化炭素を吸入した影響であると推察され、先行研究結果と比較しても妥当な変化量である。OP測定においても尿pHは僅かに増加しているが、外気濃度より200ppm以上増加した室内環境下であったことを考えると理解できる。友田は、いくつかの閉鎖環境下において、高濃度二酸化炭素と尿pH上昇、HCO₃⁻排泄増加を関連付けている²⁾⁹⁾¹⁰⁾。尿pHとHCO₃⁻の相関関係は極めて高く、1995年、1996年データでは、どちらもr= .900を超える相関係数が示されている²⁾。個別データでは、変化が大きいものでは尿pHが7を超え、HCO₃⁻排泄濃度

は50mMを超えていた。本研究では、講義後尿pHが7を越えたものが6名みられた。先行研究によりHCO₃⁻排泄との回帰式に当てはめると、30-50mMを超えるHCO₃⁻排泄が推測できた。二酸化炭素の生体内運搬については、生理学的によく知られているところである。赤血球内の炭酸脱水素酵素により、大部分は水素イオン（H⁺）と重炭酸イオン（HCO₃⁻）とに乖離し、H⁺はヘモグロビンに緩衝され、HCO₃⁻は赤血球膜を通過する¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。すなわち、体内に二酸化炭素が増加すると、血しょう中にHCO₃⁻が増加することとなる。Pitts¹⁴⁾が、1950年頃に血中HCO₃⁻閾値について触れ、通常はヒトの尿中に検出されないことを報告していることから、外気300-400ppmレベルの二酸化炭素環境下であれば、特殊な場合（アルカリ大量投与、激運動など）を除いて、HCO₃⁻は尿に検出されず、尿pHは6以下程度であると考えられる。本研究の結果から、学校教室内環境において、約1時間程度で2500ppm程度に至る二酸化炭素により、教室内滞在者の尿pHが有意に増加することが明らかとなった。これは、血液内過剰HCO₃⁻を排出する腎の酸塩基平衡調節と考えられ、高濃度二酸化炭素暴露の指標となり得ることが示された。急性の尿アルカリ化が、子どもの健康に影響を与えるものとは現時点では考えられないが、数千ppm程度の二酸化炭素暴露と関連して、学習に向かう心身状態、学習成果などに何らかの影響があるかどうか、今後の検証が望まれる。

5. まとめ

本研究は、教室内炭酸ガス濃度の上昇に伴って教室内滞在者の尿pHに急性変化があるかどうか、窓閉鎖条件（CL測定）と窓開放条件（OP測定）の温熱環境、二酸化炭素濃度、教室内微風速などを比較しながら検討することを目的とした。

その結果、窓閉鎖条件においては、室温、湿度ともに有意に上昇し、室内気流は観察されなかった。そして、窓開閉条件により、教室内二酸化炭素濃度および滞在者尿pHの変化パターンが有意に異なることが明らかとなった。すなわち、窓閉鎖条件では、室内二酸化炭素濃度が平均2500ppm

を越え、この条件でのみ、教室内滞在者の尿pHが有意に上昇した。

謝辞

本研究の報告にあたり、長年にわたって様々なフィールドにおける環境調査を継続され、貴重なデータを発表されてきた東京医科大学医学部生化学教室の友田燁夫主任教授に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 菅原敏, 豊田栄, 石戸谷重之, 森本真司, 橋田元, 青木周司, 中澤高, 山内恭, 本田秀之: クライオジェニックサンプラーを用いた昭和基地上空における成層圏大気中の温室効果気体観測, 南極資料 54, 410-425, 2010
- 2) AKIO TOMODA, MASAHIRO KAZUKA, KOICHI YASHIMA, KAZUHIDE NIYAMA and DAISUKE MURO: Significance of Rises in Urinary Bicarbonate Contents and pH Related with Increased Atmospheric Carbon Dioxide in Tokyo., Tohoku J. Exp. Med. 183, 67-73, 1997
- 3) 文部科学省: [改訂版]学校環境衛生管理マニュアル, 財団法人日本学校保健会出版部, 東京, 2010
- 4) 服部芳明, 橋田紘洋: 木造校舎教室内の炭酸ガス濃度と換気について, 鹿児島大学農学部学術報告 42, 141-148, 1992
- 5) 斎藤基之, 石井昭夫, 塩月義隆, 北山広樹: 教室環境の実態に関する調査研究 その4 教室の二酸化炭素濃度と換気について, 日本建築学会研究報告九州支部環境系40, 149-152, 2001
- 6) 角舎輝典, 佐藤一也: 教室利用時の二酸化炭素の室内分布に関する実験的研究, 日本建築学会東海支部研究報告集42, 373-376, 2004
- 7) 小林大介, 木村彰孝, 渋谷栄, 谷田貝光克, 飯島泰男: 教室内の環境が子どもにもたらす影響に関する研究 その4 秋田県能代市内の小学校における二酸化炭素濃度と換気回数, 日本建築学会学術講演梗概集(九州) 45-46, 2007
- 8) 豊川行平, 林路彰, 重松逸造: 衛生公衆衛生学, 医学書院, 東京, 1976
- 9) AKIO TOMODA: Ten-year-study on atmospheric carbon dioxide in Tokyo performed by students annually involved in 2 weeks of environmental research., J. Tokyo Med. Univ. 62, 641-647, 2004
- 10) AKIO TOMODA, SHIGETO YAMANAKA, HIDEHIKO KAWAI, HIROSHI ITO, MASO KATSUMATA, MASAYASU MINAMI, TAKUMA HASHIMOTO, HIDEJI TANII, KAZUO HASHIMOTO: Variation of Urinary pH and Bicarbonate Concentrations of Students in Metropolitan and Rural Areas of Japan., Archives of Environmental Health 50, 457-461, 1995
- 11) 合原妙美, 岩下剛: 鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測 その2 小学校高学年教室における二酸化炭素濃度と開口部開閉状況, 日本建築学会計画系論文集559, 29-36, 2002
- 12) 高橋正好: 二酸化炭素と人体, 安全工学 37, 352-357, 1998
- 13) 高橋正好: 人体への二酸化炭素の影響, セーフティダイジェスト48, 2-8, 2002
- 14) PITTS RF, AYER JL, SCHIESS WA: The renal regulation of acid-base balance in man. III. The reabsorption and excretion of bicarbonate., J. Clin. Invest., 28, 35-43, 1949