室内汚染空気の換気について (II)*¹
不均一な室内汚染空気の換気に関する理論式の考察 (その1)

松本克, 井上正敏, 今井加奈子, 山本淑恵, 武山則江 (大阪薬科大学*²)

Ventilation of Polluted Air in Rooms (II)*¹
Studies on a Theoretical Equation for Ventilation of Polluted
Air Diffused Heterogeneously in Rooms. (1)

Koku Matsumoto, Masatoshi Inoue, Kanako Imai,
Yoshie Yamamoto, Norie Takeyama
(Osaka College of Pharmacy*²)

The present investigation was undertaken to apply a theoretical method to the ventilation of polluted air in rooms where carbon dioxide in rooms was not completely diffused: theoretical equation is

$$\bar{C} = (C_1 + b/v)/R + \{C_0 - (C_1 + b/v)/R\} e^{-vt/M}$$

where M is the net capacity (L) of room, v is the ventilation volume (L/min.), t is time (min.), b is the volume (ml) of carbon dioxide produced per minute, R is the constant ($R \approx 1$), and C_1 , $\bar{C}$, C , C_0 are carbon dioxide concentrations, that is, the outdoor concentration (ml/L), the mean indoor concentration (ml/L), the concentration (ml/L) near by the ventilating opening, the mean indoor concentration (ml/L) at $t=0$, respectively.

In case of $R=1$, carbon dioxide diffuses homogeneously in rooms.

Following equation is obtained from above equation:

$$\bar{C}^{**} = (C_1 + b/v)/R$$

when $\bar{C}^{**}$ is the mean concentration of carbon dioxide and t is infinity.

The values of R calculated from above equation in "A"-room (net capacity 19.66 m³) and "B"-room (net capacity 688.94 m³) are 0.43 and 0.51, respectively, and almost agree with experimental values. But some slight lag between these two values was observed and considered to be attributed to the assumption that R was constant. In fact, R is a function of concentration of carbon dioxide, time or ventilation volume, etc..

It will be noted that, in case of $b=0$, the rate of increase of R in the smaller room ("A") was greater than in the larger one ("B").

(Received February 13, 1965)

1. 緒 言

室内汚染空気の換気については多くの報告¹⁾があり,

*¹ 前報(I), 松本克, 井上正敏, 今井加奈子, 山本淑恵: 本誌, 10, 188 (1964). 前報(I)の題名を“室内汚染空気の換気について(I) 室内汚染空気の換気に対する差分法の応用, Ventilation of polluted Air in Rooms (I) Application of Finite Difference Methods to the Ventilation of polluted Air in rooms.”に改題する.

*² 大阪府松原市高見ノ里; Takaminosato, Matsubara-shi, Osaka-fu.

換気量の計算式^{2), 3)}も, 室内 CO₂ が完全に均一であるという仮定のもとに求めている. 著者らも前報^{*1}において, この仮定のもとに室内汚染空気の換気に対して差分法を適用し, 簡単に説明しうることを実験的に証明した. 今回は室内空気の拡散が不完全で不均一であるという前提のもとに, 換気に伴う CO₂ の濃度変化の理論式を考案し実験結果と比較した.

2. 理 論 の 部

室内の空気全量を M (L), 換気量を v (L/min), 室

外の CO_2 濃度を C_1 (ml/L), 室内のそれを C (ml/L), 時間を t (min), $t=0$ のときの室内 CO_2 濃度を C_0 (ml/L) とすると, 一般に C と t との関係はつぎの式であらわされることが知られている。

$$C = C_1 + (C_0 - C_1)e^{-vt/M} \dots\dots\dots(1)$$

いま, CO_2 が室内で不均一であるとき, 室内の平均 CO_2 濃度を $\bar{C}$ (ml/L), 換気口付近の CO_2 濃度を C (ml/L) とするとき, つぎの R を導入する。

$$C = \bar{C} R \dots\dots\dots(2)$$

ここで R は, 一般に $R \neq 1$ で, かつ CO_2 濃度, 時間あるいは換気量などの函数であり, $R=1$ の場合は CO_2 が室内に均一に拡散する場合である。本報はもっとも簡単な場合として, $R \neq 1$ で, かつ定数であると仮定した場合について考察した。すなわち, つぎの式が得られる。

$$M d\bar{C} = v(C_1 - C) dt = v(C_1 - \bar{C} R) dt \dots\dots\dots(3)$$

この式を解いて, $t=0$ のとき $\bar{C} = C_0$ とすれば,

$$\bar{C} = C_1/R + (C_0 - C_1/R)e^{-vt/M} \dots\dots\dots(4)^{*3}$$

が得られる。

$t \rightarrow \infty$ のときの $\bar{C}$ の値を $\bar{C}^*$ とすれば,

$$\bar{C}^* = C_1/R \dots\dots\dots(5)$$

つぎに, 室内で CO_2 を発生させながら, 自然換気および強制換気をおこなった場合について考察する。

CO_2 発生量を b (ml/min) とすれば, (3)式に相当する式は,

$$M d\bar{C} = (vC_1 - v\bar{C}R + b) dt \dots\dots\dots(6)$$

したがってこれを解くと,

$$\bar{C} = (C_1 + b/v)/R + \{C_0 - (C_1 + b/v)/R\} e^{-vt/M} \dots\dots\dots(7)$$

が得られ, $t \rightarrow \infty$ のときの CO_2 平均濃度を $\bar{C}^{**}$ とすれば,

$$\bar{C}^{**} = (C_1 + b/v)/R \dots\dots\dots(8)$$

が得られる^{*4}。

(7)式または(8)式を用いて, 任意の室内において CO_2 が発生しているとき, 自然換気または強制換気をおこなった場合, C_0 , C_1 , b , v および R が既知ならば, 任意の時間または無限時間後の CO_2 濃度を計算することができる。あるいは, (8)式より

$$R = (C_1 + b/v)/\bar{C}^{**} \dots\dots\dots(9)$$

が得られ, b , v , C_1 および $\bar{C}^{**}$ が既知ならば, (9)式を用いて R すなわち室内空気中の CO_2 の不均一さを求めることができる。

^{*3} $R=1$ の場合は, (4)式は(1)式に相当する。

^{*4} $b=0$, すなわち CO_2 を発生させない場合は, (8)式は(5)式に相当する。

Table I. CO_2 Concentrations and Values of R under Natural Ventilation

Room	Time (hr.)	Concentration of CO_2 ($\bar{C}$) (ml/L)	Mean Concentration of CO_2 ($\bar{C}$) (ml/L)	$R = C/\bar{C}$	Rate of Increase of R (%)
A (net capacity 19.66 m ³)	0 ^{*6}	1.85	3.25	0.57	—
	0.5	0.92	1.58	0.58	1.8
	1.0	0.62	1.07	0.58	1.8
	1.5	0.51	0.85	0.60	5.3
	2.0	0.40	0.65	0.61	7.0
	2.5	0.32	0.51	0.63	10.5
	3.0	0.31	0.49	0.63	10.5
B (net capacity 688.94 m ³)	3.5	0.31	0.48	0.65	14.0
	0 ^{*7}	1.05	2.01	0.52	—
	0.5	0.57	1.12	0.51	—
	1.0	0.43	0.81	0.53	1.9
	1.5	0.34	0.64	0.53	1.9
	2.0	0.33	0.61	0.53	1.9
	2.5	0.33	0.61	0.53	1.9
	3.0	0.31	0.57	0.54	3.8
	3.5	0.30	0.54	0.55	5.8

^{*6} one hour after the evolution the concentration of CO_2 was measured

^{*7} three hours after the evolution the concentration of CO_2 was measured

3. 実験の部

室の構造, 大きさおよび室内の CO_2 測定方法は前報^{*1}に示したと同様である。得られた結果は Table I, II および III に示したが, このうち室内 CO_2 の平均濃度 $\bar{C}$ は, A 室では室の対角線の中点およびその上下約 50cm の点と, 室を 4 分割しその各部位の中心における CO_2 濃度の平均値であり, B 室では, 対角線の中心およびその上下約 50cm の点と, 室を 6 分割しそれら各部位の中心における CO_2 濃度の平均値である。また, 換気口付近の CO_2 濃度 C は, A 室では Air influx (45cm × 40cm) の中心より 10cm はなれた点で測定した値であり, B 室では 4 つずつ 2 列に天井に設けられた排気口のうち, 北東隅の排気口 (22cm × 30cm) より 50cm 下の点で測定した値である。なお, この排気口と対角線の中心との間の直線距離は 7.90m である。

室内における CO_2 発生の場所は, A 室では実験台の下部の北西隅^{*5} (対角線の中心との直線距離が約 1.40m の点) であり, B 室では教壇の中央の前 (対角線の中心との直線距離が 7.80m の点) である。また, CO_2 の発生はガスストーブを用い, CO_2 発生量 (b) は差分法を用

Table II. CO₂ Concentrations and Values of R under Mechanical Ventilation

Room	Time (hr.)	Concentration of CO ₂ $\bar{C}$ (ml/L)	Mean Concentration of CO ₂ (ml/L) $\bar{C}$	$R=C/\bar{C}$	Rate of Increase of R (%)
A (net capacity 19.66 m ³)	0*8	2.74	4.03	0.68	—
	0.5	1.29	1.93	0.67	—
	1.0	0.78	1.13	0.69	1.5
	1.5	0.57	0.81	0.70	2.9
	2.0	0.47	0.65	0.72	5.9
	2.5	0.39	0.52	0.75	10.3
	3.0	0.37	0.48	0.77	13.2
	3.5	0.31	0.38	0.81	19.1
B (net capacity 688.94 m ³)	0*9	1.25	2.31	0.54	—
	0.5	0.64	1.16	0.55	1.9
	1.0	0.52	0.92	0.57	5.6
	1.5	0.45	0.77	0.58	7.4
	2.0	0.36	0.62	0.58	7.4
	2.5	0.32	0.54	0.59	9.3
	3.0	0.31	0.51	0.60	11.1
	3.5	0.31	0.50	0.62	14.8

*8 two hours after the evolution the concentration of CO₂ was measured.

*9 four hours after the evolution the concentration of CO₂ was measured.

い算出し、A 室および B 室の気積 $M(L)$ 当りの CO₂ 発生量はいずれも $b/M=0.05$ (ml/min./L) であった。なお、CO₂ 濃度測定開始時間は、自然換気の場合 A 室では CO₂ 発生より 1 時間後、B 室では 3 時間後であり、強制換気の場合はそれぞれ 2 時間後および 4 時間後である。

4. 考 察

Table I および II に示したように、A 室および B 室における自然換気ならびに強制換気をおこなった場合、 R の値は明らかに増加し、 R の増加率は A 室の方が B 室より大きい。

つぎに、CO₂ を発生させながら自然換気および強制換気をおこなった場合は、Table III (a), (b) に示したように、A 室では自然換気をおこなったときは、 R の値はほとんど 1 に近く、強制換気をおこなうと、 R の値は時間の経過により減少し、その減少率は 3 時間後で約 57 % となる。B 室においては、自然換気および強制換気と

*5 CO₂ を発生させながら換気をおこなったときは、西側の実験台の下部前面 (対角線の中心との直線距離が約 1.00m の点)

Table III(a). CO₂ Concentrations and Values of R under Natural and Mechanical Ventilations ("A"-Room) (Ventilations were carried out with evolution of CO₂*¹⁰)

	Time (hour)	Concentration of CO ₂ C (ml/L)	Mean Concentration of CO ₂ $\bar{C}$ (ml/L)	$R=C/\bar{C}$
Natural Ventilation	0	0.32	0.32	1.00
	0.5	2.33	2.54	0.92
	1.0	2.91	3.10	0.94
	1.5	3.10	3.41	0.91
	2.0	3.21	3.54	0.90
Mechanical Ventilation	0 (2.0)* ¹¹	3.21	3.54	0.90
	0.5 (2.5)	1.68	2.06	0.85
	1.0 (3.0)	0.86	1.29	0.66
	1.5 (3.5)	0.53	1.01	0.53
	2.0 (4.0)	0.38	0.88	0.43
	2.5 (4.5)	0.31	0.82	0.38
	3.0 (5.0)	0.30	0.80	0.38
	R calcd. = 0.43			

*¹⁰ $b/M=0.05$ (ml/min./L)

*¹¹ figures in parentheses are total periods of ventilation

Table III(b). CO₂ Concentrations and values of R under Natural and Mechanical Ventilations ("B"-Room) (Ventilations were carried out with evolution of CO₂*¹²)

	Time (hour)	Concentration of CO ₂ C (ml/L)	Mean Concentration of CO ₂ $\bar{C}$ (ml/L)	$R=C/\bar{C}$
Natural Ventilation	0	0.38	0.38	1.00
	0.5	0.44	0.86	0.51
	1.0	0.65	1.26	0.52
	1.5	0.76	1.45	0.52
	2.0	0.85	1.61	0.53
	2.5	0.96	1.80	0.51
	3.0	1.07	1.99	0.54
	3.5	1.15	2.15	0.54
	4.0	1.23	2.29	0.54
Mechanical Ventilation	0 (4.0)* ¹¹	1.23	2.29	0.54
	0.5 (4.5)	0.77	1.44	0.53
	1.0 (5.0)	0.58	1.07	0.54
	1.5 (5.5)	0.48	0.89	0.54
	2.0 (6.0)	0.43	0.81	0.53
	2.5 (6.5)	0.41	0.78	0.53
	3.0 (7.0)	0.39	0.76	0.51
	3.5 (7.5)	0.37	0.76	0.49
	R calcd. = 0.51			

*¹² $b/M=0.05$ (ml/min./L)

もほとんど同じ R の値を与え、時間の経過による変化もほとんどないことが認められた。

なお、(9)式より A, B 両室の R の計算値を求めると、Table III (a) および (b) に示したようにそれぞれ 0.43 および 0.51 であり、実測値には近い値を示しているが、なお多少のずれがある。このことは、はじめ $R \neq 1$ で、かつ R が定数であると仮定したためであり、本来 R は CO_2 濃度、時間、あるいは換気量、 CO_2 発生器の位置などの複雑な函数と考えられ、この点に関する検討は次報で述べる。

終りに臨み、本研究に対し御鞭撻を賜った大阪薬科大学長柿沼三郎博士に深謝する。

文 献

- 1) 川崎近太郎, 堀尾嘉友, 正木勇二, 岩崎亮平: 本誌, 9, 4 (1963); *Ibid.*, 9, 6 (1963).
- 2) 日本薬学会: 公衆衛生年報, 1, 104 (1953).
- 3) T. Bedford: "Basic Principles of Ventilation and Heating", III~IX, 143 (1948).

長崎県小浜温泉の成分変化

寺田 精介 (長崎県衛生研究所*)

Change of Chemical Components in Hot Spring of Obama, Nagasaki

Seisuke Terada

(Nagasaki Prefectural Institute of Public Health*)

Variations of components took place in the hot spring at seaside of Obama (Nagasaki Pref.) over a long period of time were investigated.

Owing to disordered boring of spring source and waste of spring water for ten years from 1946, the spring temperature was declined and the chemical components were concentrated threefold as compared with those of the 1930's by mixing with a large quantity of sea water.

After decrease of spring sources to 28 from 84 in 1960, the concentration of chemical components and the temperature were recovered.

The rate of sea water mixed in spring water is constantly 33% from 1962 to 1964, but not recovered to a level of 20% of the 1930's yet.

(Received February 25, 1965)

ま え が き

小浜は島原半島中央部の国立公園雲仙湯の町から西へ約 14km 下った千々石湾に臨む温泉地で、面積約 24 ヘクタールの狭い地域内に多くの源泉がある。源泉数は太平洋戦争前には 8 本に過ぎなかったが、戦後食塩の需給事情の悪化にともない製塩工場の設立と源泉掘さくが活発化し、昭和 21 年に 39 本、22 年には 84 本となり、以後製塩を廃止した 35 年までの 10 余年間に、年間 1,800 万 m³ の温泉水を製塩のため流出し続けたと推定される。これにともない従来間けつ的に自噴していた最南端の源泉が自噴を休止したのを始めとし、自噴休止は湯帯の南端地区から北端を含む周辺部、さらに中心部へと波及し、昭和 21 年から 31 年までの間にその数は 60 本とな

った。この間、休止源泉では機械力による揚泉が強力化の傾向をたどり、源泉はますます衰退した。そこで県当局は 25 年に新規掘さくの制限を、さらに 31 年に動力と源泉口線の縮小措置を順次断行した結果、揚泉量を約 3 割抑えることに成功した¹⁾。その後 34 年に至り製塩の採算がとれなくなって情勢は急変し、35 年には工場が閉鎖廃業したので、大半の源泉は埋没され、現在では 28 本の源泉が浴用目的のみに利用されている。このような経過のなかで、長期にわたり温泉成分を調べたところ、ここ 20 年余の間に著しい変化を認めたので、泉質変動の特殊な一例として紹介したい。

調 査 方 法

あらかじめ選定した源泉について、適宜な期間を置き、泉質の経年変動を調べた。対象源泉は過去の分析記

* 長崎市 中川町 128; Nakagawa-cho, Nagasaki.