室内緑化の二酸化炭素濃度に及ぼす影響に関する研究

EFFECTS OF INDOOR PLANTING ON CO₂ CONCENTRATION

湯浅和博*, 藤井修二**, 大塚修弘***

Kazuhiro YUASA, Shuji FUJII and Nobuhiro OTSUKA

The purpose of this study is to investigate the effects of indoor planting on CO₂ concentration. As a first step of the study, CO₂ mass balance was calculated by the model including photosynthesis and respiration of indoor plants. Through the analysis of variance, leaf index was found out to be the most important factor affecting on the CO₂ concentration. Then CO₂ concentrations were measured in 2 types of atriums, and the effects of indoor plantings were confirmed.

Keywords : *Indoor planting, CO₂ concentration, Atrium*

室内緑化, 二酸化炭素濃度, アトリウム

1. はじめに

室内緑化はアトリウムをはじめとして、事務所や住宅等においても積極的に行われており、植物によるアメニティの創出が注目されている。一方、近年の建築物はより気密化の方向にあり、我が国においても室内空気質の複合的な汚染が重要な問題として取り上げられるようになってきた。室内緑化に関しても、植物生理学の分野における研究成果を踏まえて、建築室内環境の面から評価を行うことは重要と考えられる。

植物の室内環境への影響について検討した既往の研究としては、室内温熱環境への影響に関する研究や室内空気の浄化に関する研究等がある。前者に関しては観葉植物を試験体植物とした実験が行われており、松本ら¹⁾²⁾、石野ら³⁾は、植物の蒸散作用が室内湿気環境に及ぼす影響について把握した。さらに、浅海ら⁴⁾は温熱環境および温熱快適性に及ぼす影響について検討を行っている。また、後者については、石黒ら⁵⁾が、室内緑化空間の空気質の測定から汚染ガスの吸収効果について検討を行っている。

本研究では、室内緑化空間における微気候的な現象として、室内緑化が空気環境へ及ぼす影響を、二酸化炭素濃度を指標として数値計算および実測により把握することを目的とした。室内緑化空間の実測としては増田ら⁶⁾により食事を行うためのアトリウムの実測結果が報告されているが、データはまだ十分とは言えない。なお、植物生理学の分野においては二酸化炭素の施用に関して矢吹ら⁷⁾、内島⁸⁾、伊東⁹⁾等の報告があり、植物の生長を前提とした保育管理を目的として温室等の施設栽培時の換気量に関するモデル計算や実測が行われている。本論文は室内空間に植物を取り入れた場合の空気環境を研究対象としており、植物に対しては維持管理が目的となる点で異なるが、二酸化炭素収支のモデル化等に関しては上述の研究成果を踏まえたものである。以下では、室内緑化空間の二酸化炭素収支をモデル化し数値計算により濃度の経時変化を求め、分散分析を用いた検討を行った結果と、2箇所の緑化アトリウム空間における実測結果について報告する。

* 東京工業大学工学部建築学科 助手・工博

** 東京工業大学大学院情報理工学研究科
情報環境学専攻 教授・工博

*** NTT ファシリティーズ 工修

Research Assoc., Dept. of Architecture, and Building Engineering,
Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Mechanical and Environmental Informatics, Graduate
School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of
Technology, Dr. Eng.

NTT Power and Building Facilities Inc., M. Eng.

2. 室内緑化の二酸化炭素収支モデル

2.1 二酸化炭素収支のモデル化

本研究で検討した室内緑化空間の二酸化炭素収支モデルを図1に示す。関係因子としては、植物に関連するものとして光合成・呼吸・葉面積指数を、建築に関連するものとして緑化面積と建築面積の比率・昼光率・外気取り入れ量・在室者の呼吸を取り上げた。なお、以下のモデル化における条件として、①空間内の二酸化炭素は完全混合状態であること、②室内光としては散乱光のみを対象とすることを仮定した。上述の因子に対する二酸化炭素の収支は次の微分方程式で表わされる。

$$\frac{dC}{dt} = f(t) - g(t) + h(t) + Q \times \frac{C_{out} - C}{V} \quad (2.1)$$

ここに、C：室内緑化空間の二酸化炭素濃度

t：時間

f(t)：植物の呼吸機能

g(t)：植物の光合成機能

h(t)：人間の呼吸機能

Q：換気量

C_{out}：外気の二酸化炭素濃度

V：空間の容積

(1) 植物群落内の葉面の相対照度¹⁰⁾

植物群落内の葉面の相対照度には門司・佐伯モデルを用いた。これは、群落内部の光条件の垂直的な変化と個葉の光－光合成曲線から群落全体の生産速度を求める数学モデルであり、次式で示される。

$$\frac{I}{I_0} = \frac{K \exp(-KF)}{1-m} \quad (2.2)$$

ここに、I：群落内の任意の高さにおける水平照度

I₀：外光

K：吸光係数

F：群落最上部より任意の高さまでの間に存在

図1 室内緑化空間の二酸化炭素収支モデル

する葉の葉面積指数

m：葉の光透過率

(2) 光－光合成曲線¹⁰⁾

個葉の光－光合成曲線は一般に飽和曲線を描き、次式の双曲線で近似される。

$$p = \frac{bI}{1+aI} \quad (2.3)$$

ここに、p：葉の光合成速度

a, b：定数

図2に本研究で設定した植物の光－光合成曲線を示す。飽和光合成速度として、木本植物では12mgCO₂/dm²・h (a=b/12, b=0.002)、草本植物では20mgCO₂/dm²・h (a=b/20, b=0.003)を設定した。

(3) 植物の呼吸¹⁰⁾

植物の呼吸は、光呼吸で3mgCO₂/dm²・h、暗呼吸では1.5mgCO₂/dm²・hとした。この場合、図2の照度との関係から、呼吸量と光合成量がつりあう光補償点が草本で1000 lx、木本で2000 lxであることがわかる。

(4) 在室者と換気量

人間の呼吸に関しては、在室者数を0.1人/m²とし、二酸化炭素吐出量は0.022m³/h・人、在室時間帯は午前9時～午後5時とした。また、換気量については、外気の二酸化炭素濃度を350ppmとし、在室者数に応じた換気量（室内濃度の上限値を1000ppmとした場合の必要換

表1 因子と水準の設定

因子	水準		
飽和光合成速度 *1	12	20	
葉面積指数 *2	0.5	2	5
緑化面積／建築面積	0.2	0.5	0.8
昼光率 (%)	0.7	10	50
天井高 (m)	4	8	12

*1：草本植物と木本植物、*2：葉面積／緑化面積

図2 植物の光－光合成曲線

気量)を取り入れ、自然換気量は無しとした。

(5) 昼光率

室内照度は次式によった。

$$E = D \times E_s \quad (2.4)$$

2.2 モデルによる二酸化炭素濃度の経時変化

オイラー・ロンバーグ法¹¹⁾を用いて二酸化炭素濃度の経時変化の数値計算を行った。因子と水準の設定を表1に示す。飽和光合成速度は図2に示した2水準、葉面積指数は軽い植栽 (F=0.5) から林程度 (F=5) の3水準、緑化面積と建築面積の比率および天井高 (1~3層) についても3水準を設定した。また、昼光率としてはホ

図3 数値計算結果の例 (草本植物)

テルロビーの基準値程度 (0.7) を下限値とし、後述のアトリウム内の値を考慮した。

因子と水準の全組み合わせ (162ケース) に対して、室内濃度の初期値を外気濃度と同じ350ppmとして日変化が安定するまで数値計算を行った。ここでは、立地・時間条件として、東京の中間期 (秋期) を対象とした。図3に草本植物の計算結果の例を示す。1日の濃度変化には日の出・日の入りに伴う室内照度の変化と在室者の在室時間が影響するため、夜間 (18~6時)・6~9時・9~17時・17~18時で曲線の傾向が変化している。図中の実線は、緑化面積と建築面積の比率2・昼光率10%・天井高8mの場合の葉面積指数 (F) の変化の影響を表したもので、F=0.5の場合には1日を通じて1000ppm程度であるのに対し、F=5の場合では9時に1500ppmを超える結果を示した。また、点線は1日に

表2 1日の植物の二酸化炭素収支

木本植物			草本植物		
葉面積 指数*1	昼光率 (%)	収支*2 (mgCO ₂ /m ² /日)	葉面積 指数*1	昼光率 (%)	収支*2 (mgCO ₂ /m ² /日)
0.5	0.7	0.21	0.5	0.7	0.20
0.5	10	-0.01	0.5	10	-0.13
0.5	50	-0.30	0.5	50	-0.63
2	0.7	0.90	2	0.7	0.89
2	10	0.66	2	10	0.52
2	50	0.10	2	50	-0.37
5	0.7	2.28	5	0.7	2.27
5	10	2.03	5	10	1.88
5	50	1.33	5	50	0.80

*1: 葉面積指数/緑化面積、*2: 正は放出・負は吸収

表3 最大濃度・平均濃度・換気量の算定結果

		緑化面積/建築面積=0.2									緑化面積/建築面積=0.5									緑化面積/建築面積=0.8								
		0.7			昼光率 (%)						0.7			昼光率 (%)						0.7			昼光率 (%)					
		天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)			天井高 (m)		
		4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12
飽和光合成速度	葉面積指数	1058	1040	1035	1040	1027	1023	1021	1012	1008	1120	1076	1063	1075	1042	1032	1027	1004	996	1162	1100	1082	1099	1053	1039	1032	999	987
		1.10	1.07	1.06	1.07	1.05	1.04	1.07	1.04	1.03	1.22	1.13	1.11	1.13	1.07	1.06	1.05	1.01	1.00	1.32	1.17	1.14	1.18	1.09	1.07	1.06	1.00	0.98
		1188	1116	1095	1166	1100	1080	1112	1062	1046	1446	1265	1212	1389	1224	1175	1256	1129	1090	1617	1364	1290	1538	1307	1238	1352	1174	1120
		1.093	1.071	1.066	1.081	1.060	1.054	1.052	1.033	1.028	1.206	1.153	1.139	1.178	1.125	1.104	1.104	1.058	1.045	1.282	1.207	1.188	1.242	1.168	1.149	1.139	1.074	1.056
		1.38	1.20	1.16	1.33	1.17	1.14	1.21	1.11	1.08	2.64	1.56	1.39	2.27	1.46	1.32	1.66	1.25	1.16	6.15	1.92	1.58	4.17	1.73	1.47	2.23	1.37	1.23
飽和光合成速度	葉面積指数	1448	1267	1213	1425	1250	1198	1355	1200	1155	2096	1643	1509	2038	1600	1471	1862	1476	1361	2528	1893	1706	2447	1834	1652	2200	1660	1499
		1.208	1.154	1.141	1.196	1.143	1.129	1.161	1.110	1.096	4.94	3.60	3.27	4.65	3.31	3.298	3.78	3.249	3.216	16.86	14.98	14.51	16.44	14.57	14.10	15.22	13.42	12.95
		2.67	1.57	1.40	2.50	1.53	1.37	2.08	1.41	1.28	**	4.55	2.40	**	4.02	2.26	**	2.85	1.88	**	**	4.10	**	**	3.66	**	8.00	2.65
		1057	1040	1035	1034	1021	1017	1004	996	993	1118	1074	1061	1060	1028	1018	985	966	958	1158	1097	1079	1077	1032	1018	973	946	934
		1.10	1.07	1.06	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00	0.99	1.22	1.13	1.10	1.11	1.05	1.03	0.98	0.95	0.94	1.31	1.17	1.13	1.14	1.06	1.03	0.96	0.92	0.90
飽和光合成速度	葉面積指数	1187	1115	1094	1153	1090	1072	1087	1039	1024	1443	1263	1210	1358	1201	1154	1193	1073	1035	1614	1362	1287	1494	1274	1209	1263	1095	1042
		1.092	1.071	1.065	1.075	1.053	1.048	1.028	1.011	1.006	1.205	1.151	1.138	1.161	1.109	1.095	1.045	1.002	989	1280	1205	1187	1219	1145	1126	1057	996	978
		1.38	1.20	1.16	1.30	1.16	1.12	1.16	1.07	1.04	2.63	1.56	1.39	2.10	1.41	1.28	1.48	1.14	1.07	6.03	1.91	1.58	3.50	1.64	1.41	1.84	1.20	1.08
		1447	1266	1213	1412	1241	1190	1304	1164	1122	2094	1641	1507	2006	1577	1449	1734	1384	1279	2525	1891	1703	2402	1801	1622	2021	1531	1385
		2.66	1.57	1.40	2.42	1.50	1.35	1.12	1.135	1.085	4.93	3.59	3.26	4.48	3.15	2.81	3.12	1.87	1.153	16.84	14.96	15.00	16.21	14.34	13.87	14.31	12.55	12.07

注. 上段は1日における最大濃度 (ppm)、中段は平均濃度 (ppm)、下段は最大濃度が1000ppm以下となるために必要な換気量と設定換気量との比率 (-) を示す。下段の**印は値が10以上となった場合を表す。飽和光合成速度の単位は (mgCO₂/dm²・h)。

おける濃度の最大値が最大および最小のケースについて示したもので、上側点線では夜間の暗呼吸による濃度増大は120ppm/h程度となっている。

表2は単位面積あたりの1日の植物の光合成量と呼吸量の収支を示したものである。表中の数値が正の場合には二酸化炭素の収支として放出を、負の場合には吸収を表す。設定した因子と水準の範囲において、全体的には正の値を示す場合が多く認められているが、最大（葉面積指数5・昼光率0.7%）でも $2.28\text{mgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{日}$ であり、葉面積指数が小さい場合には収支が吸収を示している。これは、葉面積指数が小さい場合には群落内の相対照度が増大し、光合成が活性化するためと考えられる。葉面積指数が大きい場合、補助光源の設置等により植物の維持管理は可能となるが、このことは空調負荷の増大に結びつくものとなろう。

表3は全ケースの算定結果を示したもので、1日における最大濃度（上段）は934～2528ppm、平均濃度（中

段）は915～1686ppmとなっている。下段の数値は最大濃度が1000ppm以下となるために必要な換気量と設定換気量の比率を表したもので、**印は値が10以上であることを意味している。葉面積指数が5の場合には濃度が高い値を示すケースが多く、最大濃度を1000ppm以下とするために必要な換気量も大きい。

2.3 モデルの分散分析

表3に示した全ケースの最大濃度と平均濃度の値を用いて分散分析を行った。結果を表4に示す。葉面積指数の寄与率が最大濃度では58%、平均濃度では64%と最も大きく、光合成量および呼吸量に大きな影響を与えていることがわかる。次いで、緑化面積と建築面積の比率、天井高等の順となっているが、これらの値は葉面積指数と比較するとかなり小さい。また、飽和光合成速度の寄与率は最大濃度・平均濃度ともに1%以下の値となった。従って、本研究で設定した因子と水準においては、二酸化炭素濃度の面からは葉面積指数に配慮した室内緑化計画が重要と考えられる。

表4 分散分析の結果

(1) 最大濃度

要因	自由度	変動	分散	分散比	寄与率(%)
A. 光合成速度	1	3.18E+04	3.18E+04	13.85 **	0.17
B. 葉面積指数	2	9.25E+06	4.62E+06	2015.50 **	51.94
C. 緑化面積	2	2.30E+06	1.15E+06	500.65 **	12.90
D. 昼光率	2	6.99E+05	3.49E+05	152.35 **	3.90
E. 天井高	2	1.77E+06	8.87E+05	386.77 **	9.92
B×C	4	1.79E+06	4.48E+05	195.38 **	10.00
B×D	4	8.79E+04	2.20E+04	9.58 **	0.45
B×E	4	1.12E+06	2.80E+05	122.15 **	6.24
C×D	4	1.36E+05	3.39E+04	14.77 **	0.71
C×E	4	3.44E+05	8.60E+04	37.49 **	1.88
D×E	4	2.21E+04	5.53E+03	2.41	0.07
誤差(e)	128	2.94E+05	2.29E+03		1.82
合計	161	1.78E+07		3.45E+03	100.00

** 1%有意

(2) 平均濃度

要因	自由度	変動	分散	分散比	寄与率(%)
A. 光合成速度	1	1.97E+04	1.97E+04	50.84 **	0.44
B. 葉面積指数	2	2.53E+06	1.27E+06	3260.89 **	58.28
C. 緑化面積	2	5.04E+05	2.52E+05	649.39 **	11.60
D. 昼光率	2	3.47E+05	1.73E+05	446.64 **	7.98
E. 天井高	2	1.70E+05	8.51E+04	219.26 **	3.90
B×C	4	4.91E+05	1.23E+05	316.10 **	11.28
B×D	4	1.74E+04	4.35E+03	11.20 **	0.37
B×E	4	1.05E+05	2.63E+04	67.79 **	2.38
C×D	4	6.72E+04	1.68E+04	43.30 **	1.51
C×E	4	3.30E+04	8.25E+03	21.25 **	0.72
D×E	4	4.67E+02	1.17E+02	0.30	0.00
誤差(e)	128	4.97E+04	3.88E+02		1.54
合計	161	4.34E+06		5.09E+03	100.00

** 1%有意

3. 室内緑化空間における二酸化炭素濃度の実測

3.1 実測概要

(1) アトリウム概要

二酸化炭素濃度の実測は2箇所の緑化アトリウム空間で行った。表5にアトリウムの概要を示す。A社アトリウムは展示場エントランスホールとなっており、床面積は1900m²である。平面的には1/3程度に植栽が施され、ヤマモモ・ツバキ・イチイ等の常緑和物で多層型の人工地盤庭園が形成されている。アトリウム内の空調は中央の吹き出し口と両端の吸い込み口で行われるが、実測日には換気のみが9～17時で行われていた。一方、B社アトリウムは7～23時には公共空間として自由に出入りが可能な空間で、その間は空調も行われている。床面積は2000m²で、植栽はベンジャミンがアトリウム内全体に、

表5 実測アトリウムの概要

	A社アトリウム	B社アトリウム
所在地	神奈川県伊勢原市	東京都港区
床面積(容積)	1900m ² (25000m ³)	2000m ² (65000m ³)
測定日・天候	1993年9月13～15日、晴	1993年9月21～23日、雨
空調時間	9～17時(換気のみ)	7～23時
備考	ヤマモモ、ツバキ、イチイ等常緑和物の多層型人工地盤緑化が西側、観葉植物と高さ10mの竹が中央部に配置。2階レベルはボトスが全体を囲む。	ベンジャミン12本を全体に配置。単層型人工地盤緑化。草花が中央の水路を囲む。給気は各所の給気ユニット、還気は植栽基盤下部の還気口から。

中央の水路周辺にはコンテナの草花が配置されている。全体的にはA社と比較して植栽の量は少ない。

(2) 測定概要

A社アトリウムの実測は1993年9月13～15日に、B社アトリウムは同年9月21～25日に行った。測定項目は二酸化炭素濃度・室内照度・温度・湿度である。二酸化炭素濃度の測定には、非分散赤外線吸収式二酸化炭素濃度測定器（ガステック：CMCD-10pを2台、コーナー札幌：KNS-360を1台）を用いた。測定点は両アトリウムとも植栽中央・アトリウム上部・屋外である。植栽中央は固定測定点として15分毎に、その他の点では1時間毎に測定を行った。室内照度の測定にはデジタル照度計（東京光学機械：TOPCON IM-3）を使用して、1分毎のデータをデジタルレコーダー（TEAC：DR-F2a）に収録した。

3.2 実測結果

(1) A社アトリウム

図4は、A社アトリウムにおける室内照度と二酸化炭素濃度の経時変化を9月14日の0～24時について示したものである。植栽中央の二酸化炭素濃度については、データレコーダーの不備のために9～12時のデータが欠落している。室内照度は6時から立ち上がり、12時頃に

(1) 室内照度

(2) 二酸化炭素濃度

図4 アトリウムの実測結果 (A社)

1200 lx程度のピーク値を示した後、18時までゆるやかに減少し、その後は内部照明等により21時まで200～300 lx程度の値をとっている。

二酸化炭素濃度についてみると、外気濃度は350～370ppm、アトリウム上部の濃度は400ppm前後で安定した値を示している。一方、植栽中央の濃度は昼間は410～420ppmであるのに対し、室内照度の減少とともに増大し、夜間には450ppm程度となっている。昼間の濃度に関しては、図2に示した光補償点が草本でも1000 lxであることから、光合成による二酸化炭素の消費量が光呼吸による放出量を上回っているとは考えられず、9～17時の機械換気により安定した濃度が形成されていると言えよう。A社アトリウムでは1日を通じて在室者はほとんどいなかったことを考慮すると、夜間の濃度増大には植物の暗呼吸が影響していると考えられるが、その影響は数十ppmの範囲にあることがわかった。

(2) B社アトリウム

B社アトリウムの測定結果として9月22日の0～24時の経時変化を図5に示す。室内照度はA社アトリウムと比較してかなり大きな値を示し、最大で5000 lx程度であった。二酸化炭素濃度の全体的な傾向をみると、外気濃度が370～400ppm、植栽中央の濃度は430～500ppmの範囲で変化しており、アトリウム上部（2階レベル）

(1) 室内照度

(2) 二酸化炭素濃度

図5 アトリウムの実測結果 (B社)

の濃度は植栽中央よりもやや高い値を示した。ここでは室内照度と二酸化炭素濃度の関係は認められない。10時・12時・21時に濃度のピークを生じているが、これはB社アトリウムが7～23時においては公共空間として利用されており、アトリウム内の在室者の影響が二酸化炭素濃度に対して支配的であることを表す結果となった。

4. おわりに

本研究では、室内緑化が二酸化炭素濃度に及ぼす影響について、数値計算および実測により把握した。本研究の成果を以下にまとめる。

(1) 植物群落全体の光合成による生産速度を求める数学モデルを組み込んで室内緑化空間の二酸化炭素収支をモデル化し数値計算を行った結果、本研究で設定した因子と水準においては、1日の植物の二酸化炭素収支はほとんど放出を示した。

(2) モデルの分散分析により各因子の寄与率について検討した結果、室内空間濃度に対しては葉面積指数の寄与率が他の因子と比較して大きく、二酸化炭素濃度の面からは葉面積指数を抑えた植栽とすることで群落内の相対照度の増大ならびに光合成の活性化が期待できることがわかった。

(3) 緑化アトリウムにおける実測では、植物の夜間の暗呼吸による濃度増大現象等があるものの、その影響は数十ppmの範囲であることが確認された。

なお、アトリウム空間の形状が複雑で換気の状態を把握し難いことや葉面積指数の実測が困難であったため、本報では実測結果とモデルとの対応は行わなかったが、今後の課題としたい。また、室内空気質の面からは、二酸化炭素以外のガス状物質や粒子状物質の実測等を行い、複合的な汚染に関する検討を進める予定である。

謝辞 アトリウムの実測に際して、A社およびB社の各位に感謝の意を表します。

注 本論文は、日本建築学会大会学術講演梗概集に発表した内容¹²⁾を加筆・修正したものである。

参考文献

- 1) 松井, 松本, 鉾井: 空調における植栽の熱・水分特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 [D], pp.725～726, 1990年10月
- 2) 長嶺, 松本, 鉾井: 植栽の水分負荷特性<サトイモ科観葉植物の気孔率>, 日本建築学会大会学術講演梗概集 [D], pp.791～792, 1991年9月
- 3) 石野, 谷本, 柳: 室内環境における観葉植物の蒸散作用に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第457号, pp.9～17, 1994年3月
- 4) 浅海, 仁科, 塚西, 増井, 橋本: 観葉植物が室内の温熱環境および温熱快適性に及ぼす影響—冬期における実験による解析—, 日本建築学会計画系論文集, 第464号, pp.39～46, 1994年10月
- 5) 石黒, 呂: 室内の空気質に関する研究 その2. 植物による室内空気浄化について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 [D], pp.717～718, 1992年8月
- 6) 増田, 木村, 岩下, 浅田, 網川: アトリウム環境の快適性の総合評価に関する試験研究 (その1 物理量の測定結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集 [D], pp.973～974, 1993年9月
- 7) 矢吹, 今津: ガラス室の炭酸ガス濃度について, 農業気象, 第20巻, 第4号, pp.1～5, 1965年3月
- 8) 内嶋: Growth Chamber内の微気孔(5)ーガラス室内のCO₂環境と光合成のシミュレーションー, 農業気象, 第27巻, 第2号, pp.9～21, 1971年11月
- 9) 伊東: そ菜栽培における作物群落内の炭酸ガス濃度低下, 園芸学会雑誌, 第39巻, 第2号, pp.87～94, 1970年
- 10) 戸塚, 木村: 植物の生産過程, 共立出版, 1973年
- 11) 小島, 町田: パソコンBASIC数値計算 I, 東海大学出版会, 1982年
- 12) 大塚, 藤井, 湯浅: 室内緑化の二酸化炭素濃度に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 [D], pp.185～186, 1994年9月

(1995年7月10日原稿受理, 1996年1月30日採用決定)