

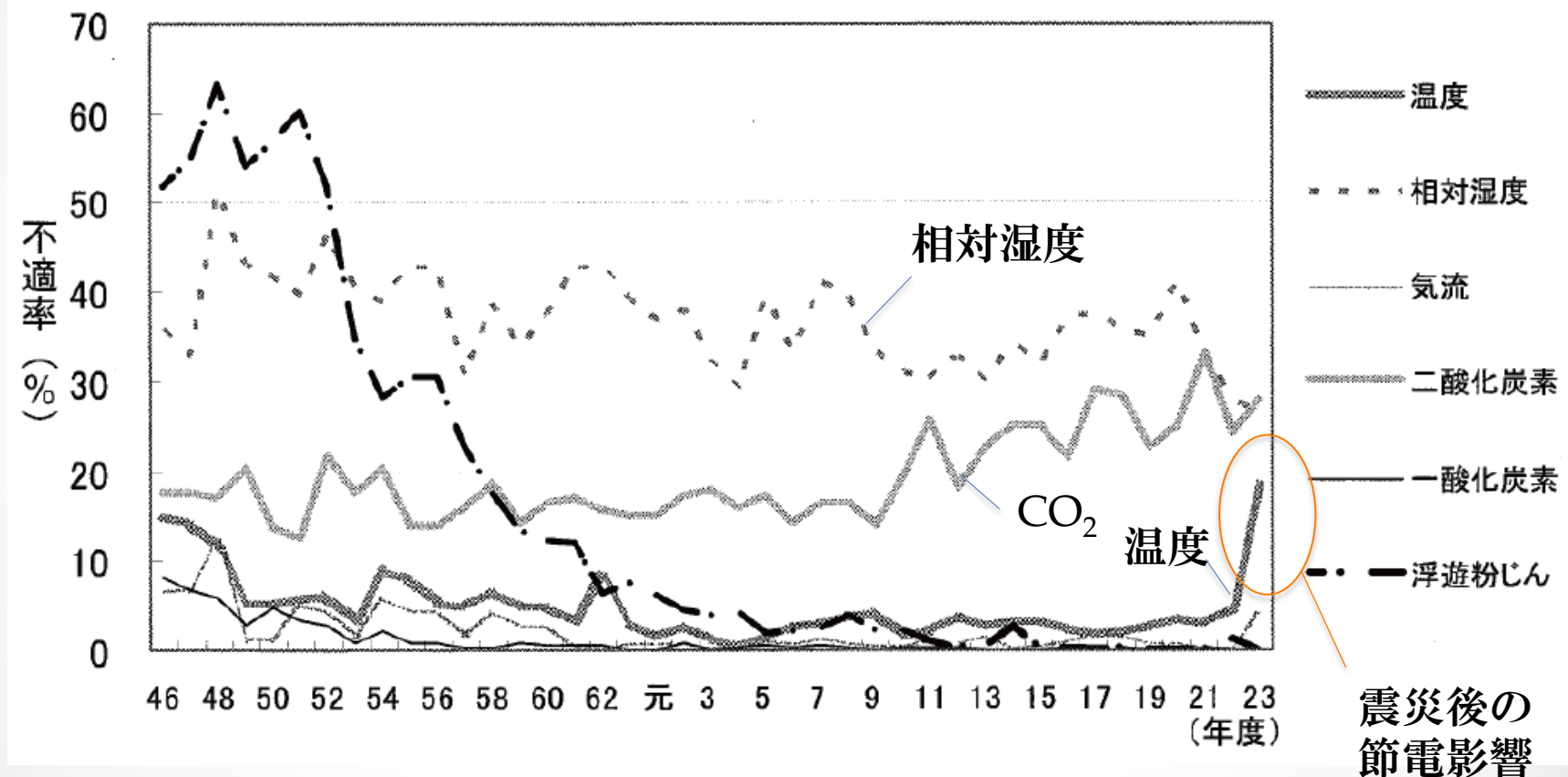
CO₂ 1000ppm問題

大阪大学大学院工学研究科
山中俊夫

CO₂ 1000ppm問題とは

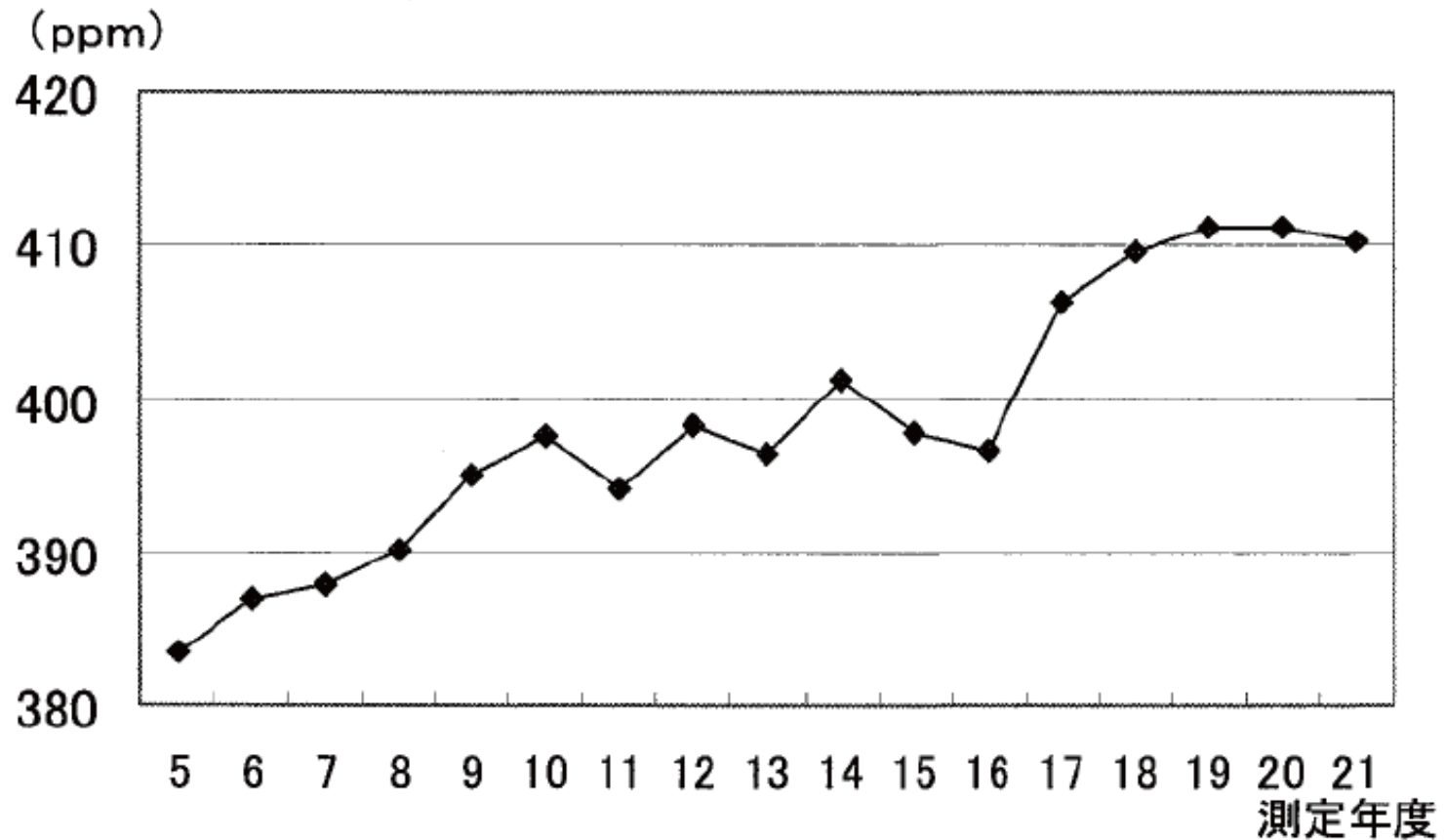
- 二酸化炭素（CO₂）濃度1000ppm
 - 総合的指標？→×
 - 代表的指標 →人体から発散する体臭強度の代表的指標
 - 嗅覚は順応する→**外来者評価**による体臭強度の指標
- 現在多くの建物で1000ppmを超える
 - 東京都での立ち入り検査の結果
 - 相対湿度： 冬期の乾燥問題、40%を下回るケース
 - CO₂： 平成9年頃より徐々に増加
 - ←地球温暖化に伴うCO₂増加 **20ppm/10年**
 - 20ppm**増加で換気量は **1m³/h** 程度増加（32.8→33.9m³/h）
 - 温度： 平成23年に激増
 - ←東日本大震災後の節電要求による

空気環境管理項目の不適率経年変化



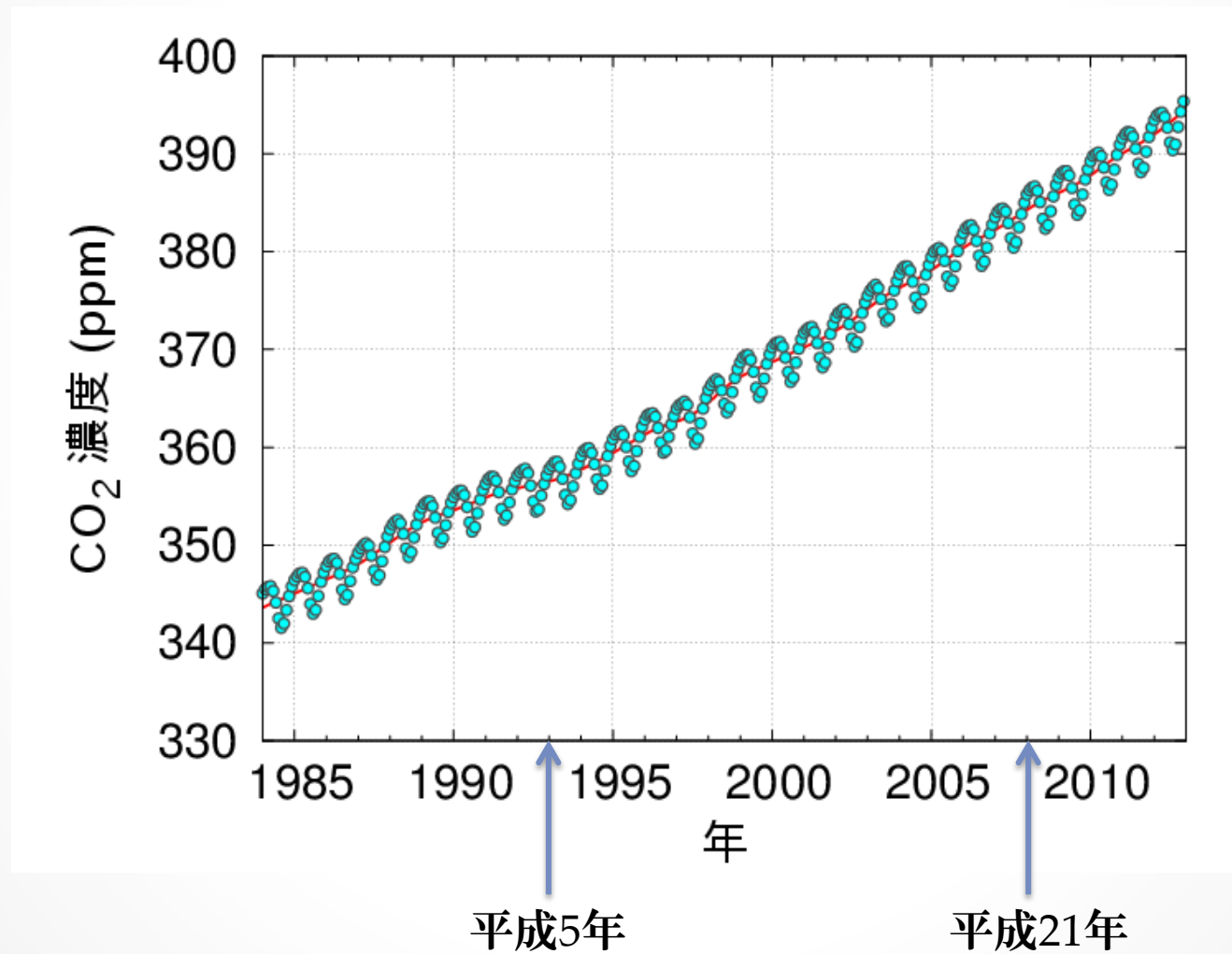
建築物衛生法に基づく管理基準を満足しない割合 (東京都)

外気のCO₂濃度の経年変化



都心における外気のCO₂濃度の経年変化（江東区）

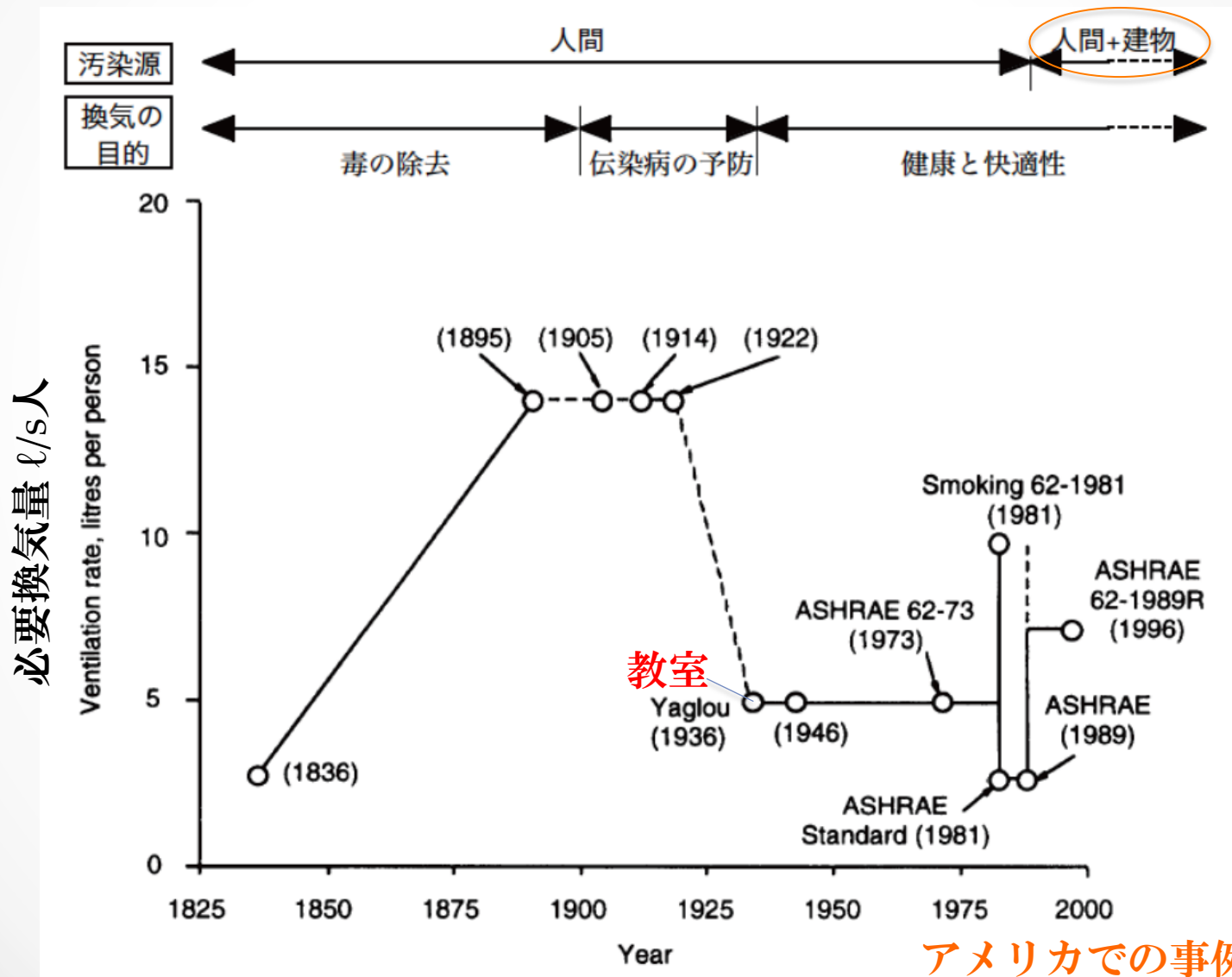
地球全体の大気中CO₂濃度の経年変化



CO₂ 1000ppm問題とは

- CO₂濃度1000ppmを守るために
 - 外気導入量の増加 → 冷暖房負荷の増加
- CO₂濃度1000ppm問題
 - 「室内のCO₂濃度が1000ppmを超えると、室内の空気環境は在室者の健康と快適を保てないほど悪化するか？」
- 本発表の構成
 1. CO₂濃度1000ppm問題について
 2. 換気哲学の変遷
 3. 人間の体臭とCO₂
 4. 知覚空気質の考え方とCO₂
 5. CO₂濃度が1000ppmと決められた経緯
 6. 知的生産性とCO₂

換気哲学と必要換気量の変遷



空気汚染の考え方年表

時代	空気汚染の考え方	必要換気量
17～ 18世紀	空気によども、人混みによる汗が伝染病や発熱の原因と考えられる	
1777	<u>ラボアジエ (Lavoisier)</u> が不健康な環境の原因は二酸化炭素であると主張	←CO ₂ 有毒説
1836	Tredgold が人間の息から吐き出された有害な汚染物質が空気中に存在していると主張	
1845	Meikleham がラボアジエの二酸化炭素有毒説を支持	
1857		Roscoeにより、兵舎の臭気除去のための換気量： 12 m ³ /h・人

空気汚染の考え方年表

↓ CO₂指標説

1862	<u>ペッテンコッフエル</u> (Max von Pettenkofer) が室内で出現する程度の低濃度では <u>二酸化炭素は無害</u> であること、また酸素濃度の低下による影響も問題ないことを証明。また、二酸化炭素が身体や肺から排出された有機物の指標となると主張	長期在室の室： 50 m ³ /h・人 (CO ₂ 濃度 700 ppm) 通常の室： 30 m ³ /h・人 (CO ₂ 濃度 1 000 ppm)
1872	Sealtzer が人間から排出される有機物が有害であることを主張	
1880		健康のための会議にて必要換気量：51 m ³ /h・人

空気汚染の考え方年表

1887	Brown-Se'quard が、人間が吐き出した息には“anthropotoxin”と呼ばれる有害物質が含まれているという理論を発表	伝染病の予防のための換気
1893	医者→ J.Billings が人間の呼気有機物汚染理論に基づき、不適当な換気と肺結核との相関を指摘	↓ 必要換気量： 51 m ³ /h・人
1920 ～ 30	伝染病の感染には換気以外の要因がより重要であることが明らかになる	
1931		ニューヨーク換気委員会：17 ～ 25 m ³ /h・人(教室)

空気汚染の考え方年表

1936	ヤグロー (Yaglou) らは人体から発生する<u>臭気</u>が重要な汚染物であることを示す 体臭除去のため→	25～30 m³/h・人 * 1人当たりの気積に応じて必要換気量を変えた
1973		ASHRAE 換気規格: 25.5 m³/h・人 (一般事務室)
1981		ASHRAE 換気規格: 8.5 m³/h・人
1988	Fanger は、体臭ばかりでなく、<u>建材</u>や空調換気装置、煙草が重要な空気汚染源であることを示す。新しい空気質の単位である <u>olf と decipol</u> を提唱	←建物自身も汚染源
1989		ASHRAE 換気規格: 27 m³/h・人

P.O.Fangerの予言

- 「室内の空気は、ただ許容されることだけを目標として設計されるのではなく、最上なる外気と同じくらい快適で、新鮮で、刺激を受けるものとして知覚されるように設計されることであろう」
- P. O. Fanger : "THE PHILOSOPHY BEHIND VENTILATION : PAST, PRESENT AND FUTURE",
Proceedings of INDOOR AIR '96, Vol.4, pp.3-12, 1996

人間の体臭とCO₂

- Yaglou (1936年)
 - 体臭を主要な空気汚染源と位置づける
 - 様々な階級（平均的階級、労働者、貧困層、上流階級）ごと
 - 在室者1人当たりの気積によって異なる換気量
←その後の研究でも追従できず
- 日本での研究例
 - 南野ら (1982年) : Yaglouより低い体臭強度
二酸化炭素の信頼性
 - 檜崎ら (1983-1985) : Yaglouの気積の効果を否定
CO₂濃度1000ppm=臭気強度「微弱」

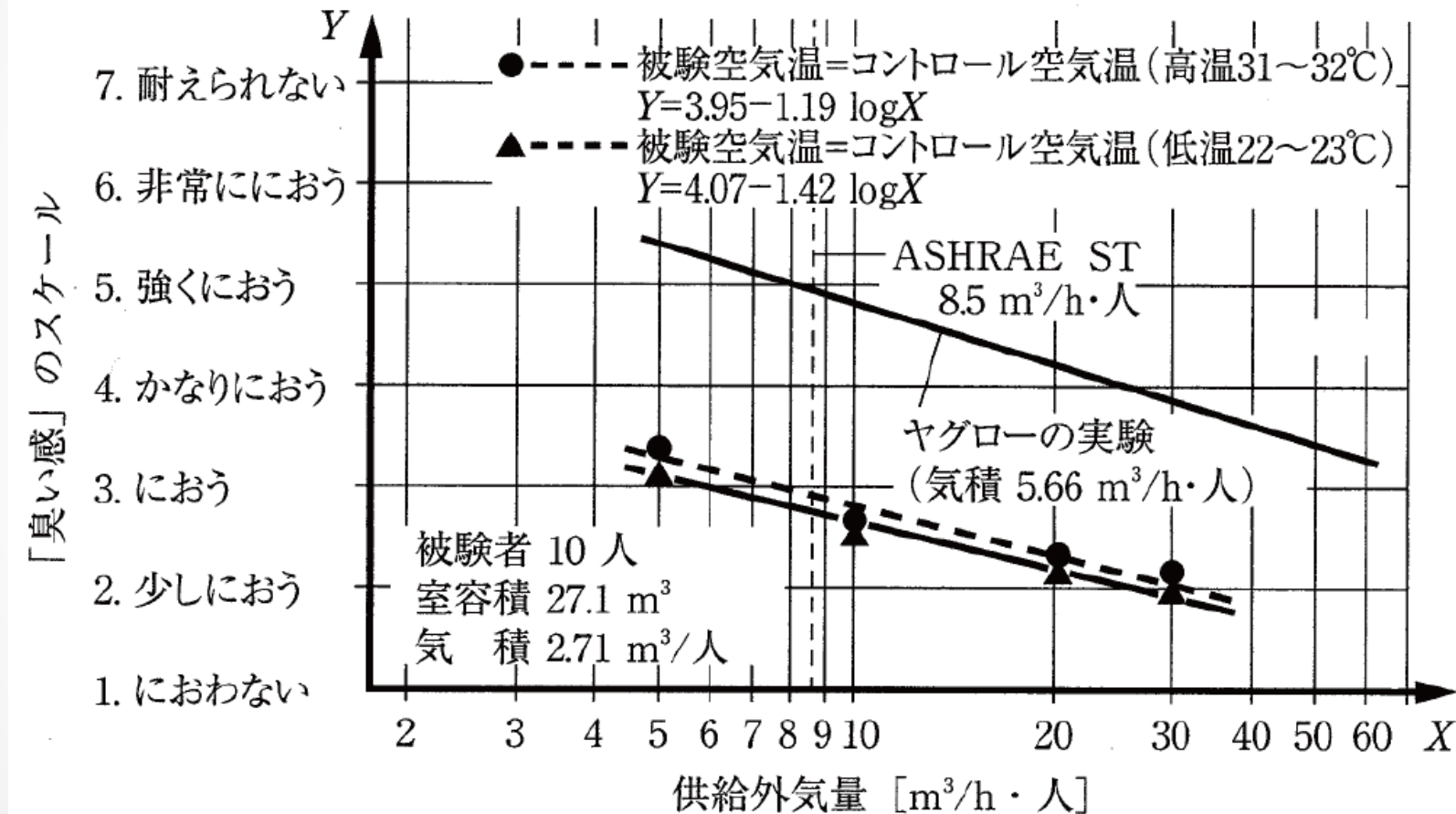
Yaglouによる換気量

表 1.3.5-1 不快な体臭を除くために必要な最小外気量（アメリカ）

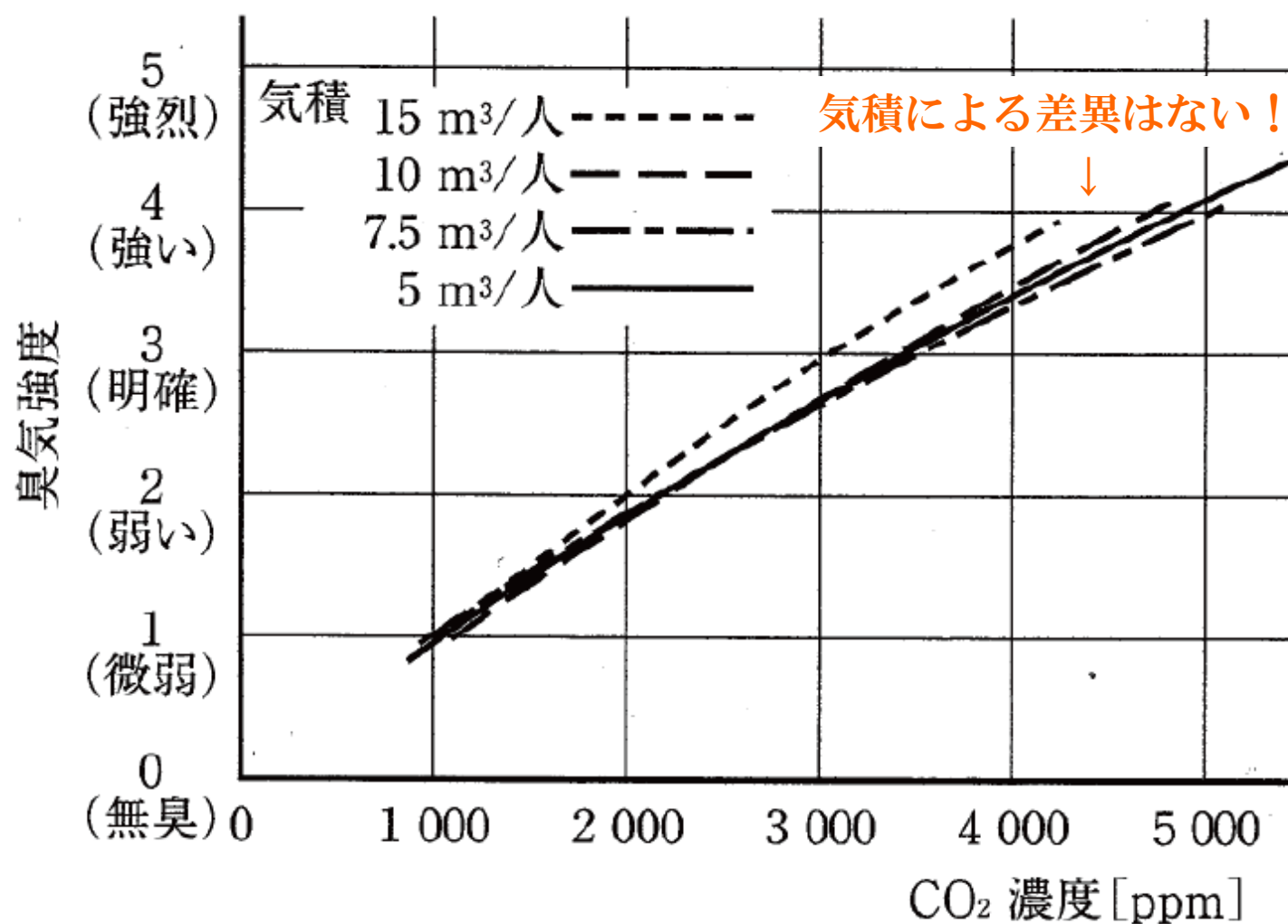
Yaglou et al HVAC Vol, 8P65 or HVAC Guide 1961

在室者の種類	1人当り気積 (m^3)	1人当り外気供給量 (m^3/h)
座業成人 (中流階級)	2.8	42.5
	5.6	27.2
	8.5	20.4
	14.2	11.9
労働者	5.6	39.1
学童 (中流階級)	2.8	49.3
	5.6	35.7
	8.5	28.9
	14.2	18.7
学童 (下層階級)	5.6	64.7
学童 (上層階級)	5.6	30.6
冬季, 速心式給湿機によつて給湿された空気。噴霧水量 $30 \sim 37 \ell/\text{h}$ 。1人当り循環空気総量 $51 \text{ m}^3/\text{h}$		
座業成人	5.6	20.4
夏季, 噴霧除湿機によつて除湿された空気。噴霧水は毎日交換。1人当り循環空気総量 $51 \text{ m}^3/\text{h}$		
座業成人	5.6	6.8 以下

供給外気量と体臭強度（南野ら）



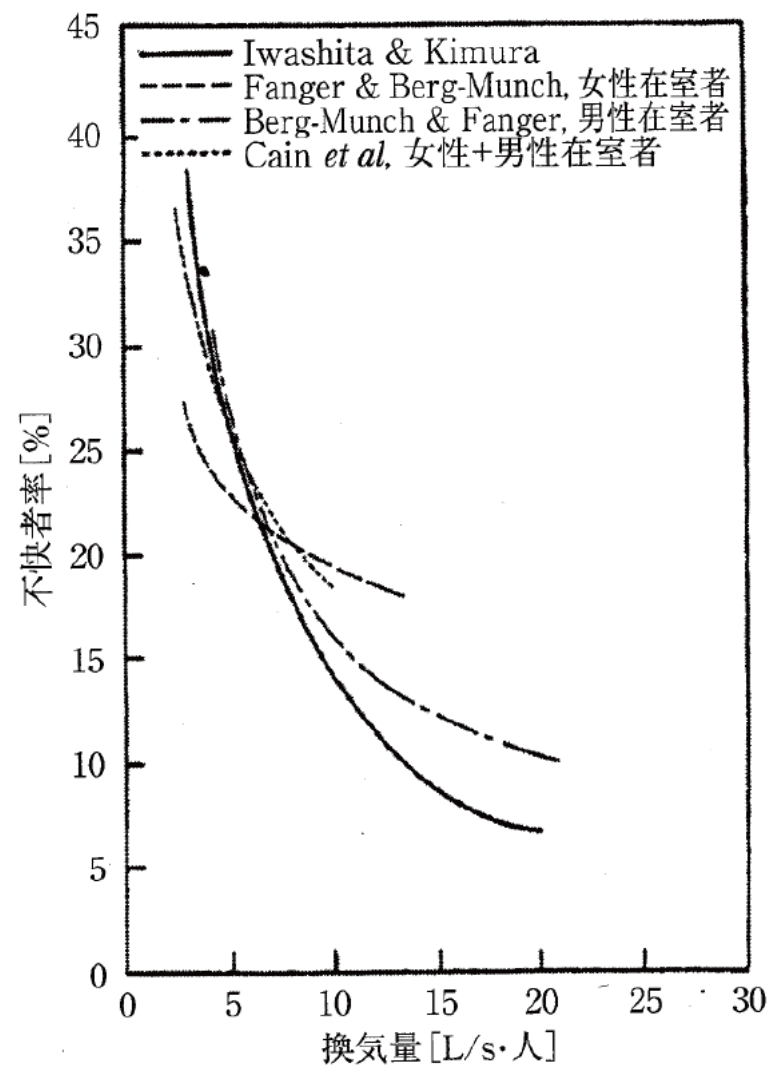
CO₂濃度と体臭強度（檜崎ら）



人間の体臭とCO₂

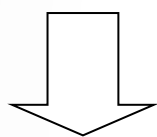
- Yaglou (1936年)
 - 体臭を主要な空気汚染源と位置づける
 - 様々な階級（平均的階級、労働者、貧困層、上流階級）ごと
 - 在室者1人当たりの**気積**によって異なる換気量
 - ←その後の研究でも追従できず(Cain, Berg-Munch etc...)
- 日本での研究例
 - 南野ら (1982年) : Yaglouより低い体臭強度
二酸化炭素の信頼性
 - 檜崎ら (1983-1985) : Yaglouの気積の効果を否定
CO₂濃度1000ppm=臭気強度「微弱」
- Fangerらのアプローチ
 - 体臭強度ではなく、不快者率 (PD) を指標に！
 - 温熱環境指標**PMV**と同じ考え方

換気量と不快者率との関係



換気量と不快者率との関係

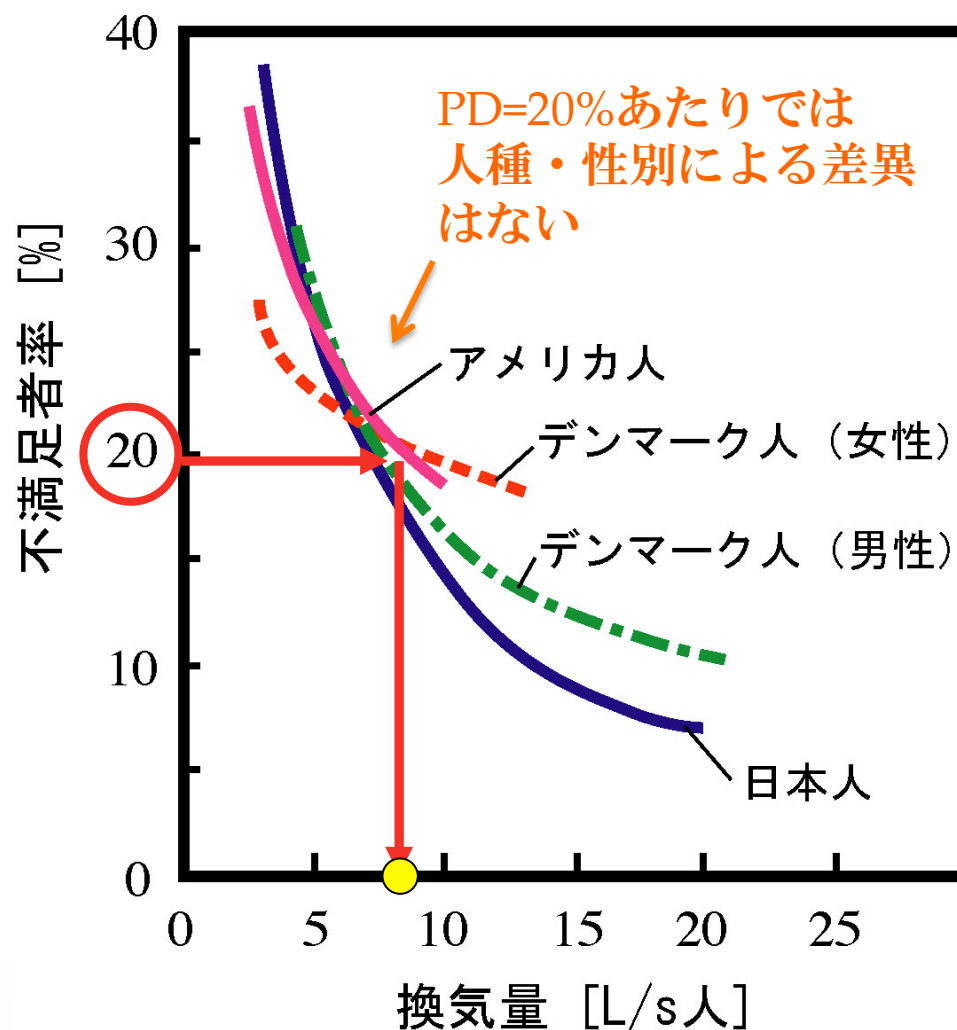
不快者率20%



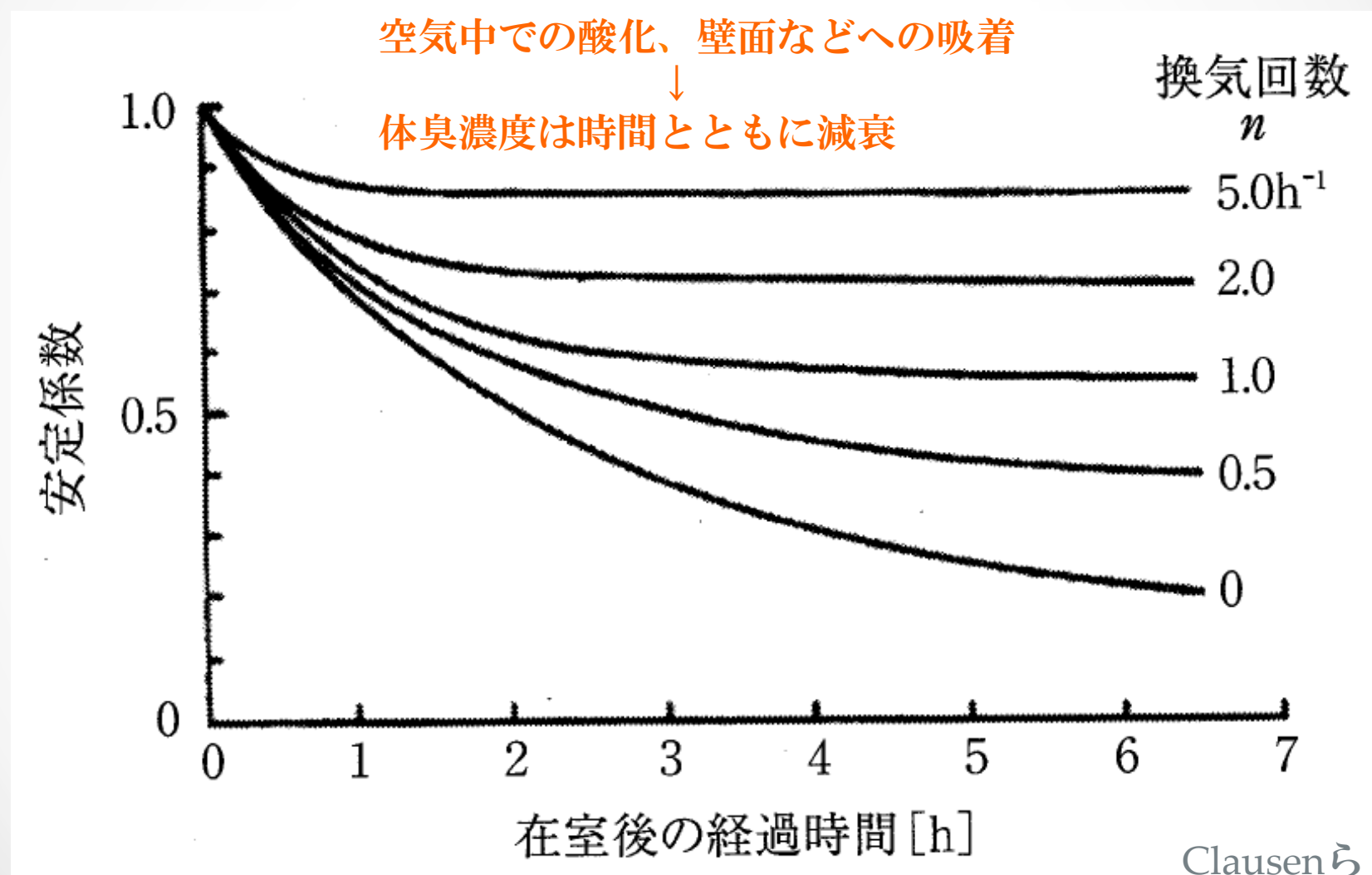
7.5 L/s人

||

27 m³/h人



体臭濃度の安定係数

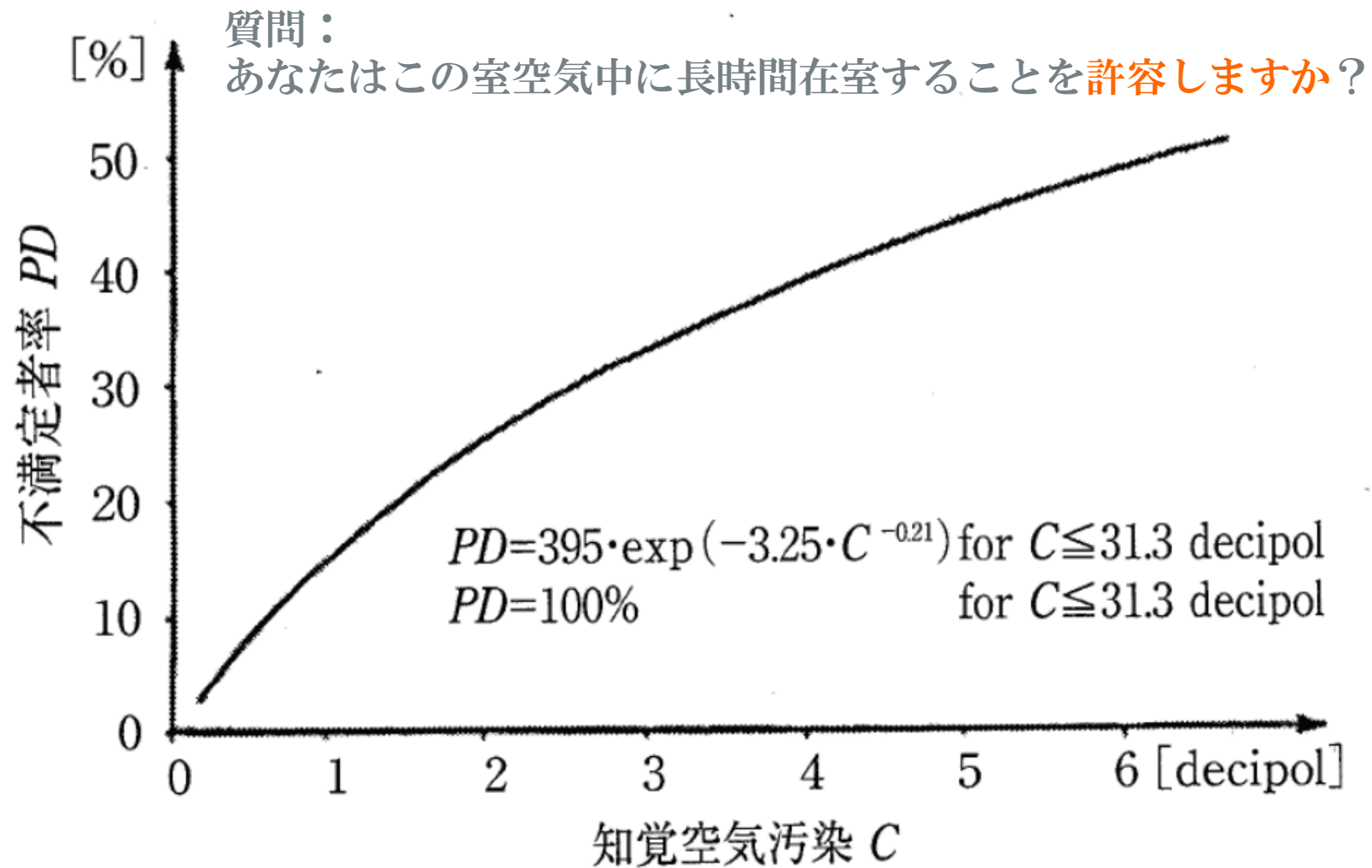


Yaglouの実験結果を説明できるほどではない

知覚空気質

- **知覚空気質** (Perceived Air Quality) : 空気質の単位
 - 1 olf : 人間1人から発生する生理的排泄物 (体臭) の発生量の単位
 - 1 pol : 知覚空気質の濃度単位 1olfを1ℓ/sで希釈したときの体臭濃度
 - 1 decipol : 1polの1/10の単位 ※deciはデシ (1/10)
- Olf・decipol単位系の特徴
 - すべての知覚空気汚染質をolfで表現
 - 基本となるのは、「知覚空気質濃度と不満足者率との関係」
 - 汚染質は加算できる
 - ・ 体臭、たばこ臭、建材臭、空調ダクト臭については証明済み (Wargocki)
- DecipolとCO₂濃度との換算
$$C_{CO_2} = \frac{1000M}{Q} + C_o = \frac{1000C_dM}{36} + C_o = 27.8C_dM + C_o$$
 - M : 人体一人当たりのCO₂発生量 [ℓ/h] C_d : 人間の呼気によるCO₂濃度 [ppm]
 - C_o : 外気のCO₂濃度 [ppm]

知覚空気質濃度と不快者率との関係



CO₂濃度1000ppmの経緯

- Pettenkofer (1858) の提案 →1000ppmの源流
 - 長時間在室する室・・・CO₂濃度 700ppm
 - 通常の室・・・CO₂濃度 1000ppm
- Billings (1893) の提案
 - 最適換気量・・・100 m³/h (28ℓ/s)
 - 快適性のための最低換気量・・・51 m³/h (14ℓ/s) →ASHVE(1895)に採用
- ASHRAE換気規格 62-73 (1973) ←オイルショック前
 - 事務所の換気量・・・25~42m³/ (h人)
 - CO₂濃度→ 806~1,130ppm (外気：330ppm)

CO₂濃度1000ppmの経緯

- 厚生省の研究報告書（空気調和・衛生工学会）（1966）
- ASHRAE換気規格 62-73（1973）
 - その後、換気量の削減（最低値の採用）
- 建築物衛生法（1975）の制定
 - 「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」←昔は、通称「ビル管法」
 - CO₂ 1000ppmが採用
- シックビルディングシンドロームの発生（アメリカ）
- ASHRAE 換気規格 62.1-2013（2013）
 - CO₂に基づく換気量決定・・・外気濃度+700ppm
 - ・ しかし、信頼できる確実な空気質指標ではない、と付記

厚生省の研究 (1966)

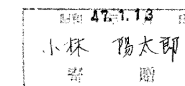
表 1.3.5-3 換気設備のグレードとCO₂濃度許限度(木村案)

設備の グレード (級)	設備の組合わせの内容										CO ₂ 濃度 許容限度 (%)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
11	○										0.07 ~0.10
10	○			○							
9		○									
8		○		○							
7			○	○	○						0.10 ~0.15
6			○	○		○	○		○		
5			○	○		○	○	○	○		
4			○	○	○	○	○		○		
3			○	○	○	○	○	○	○		0.15 ~0.20
2			○	○	○	○		○	○	○	
1			○	○	○	○	○	○	○	○	

- 0:機械的換気設備なし
 1:簡易な機械換気設備(壁付換気扇)
 2:エア・ダクトによる機械換気設備
 3:加熱装置(直燃式は除外)
 4:加湿装置(空気洗浄型以外のもの)
 5:冷却装置
 6:減湿装置
 7:空気洗浄(加湿,減湿)装置
 8:空気濾過装置
 9:吸収・吸着装置

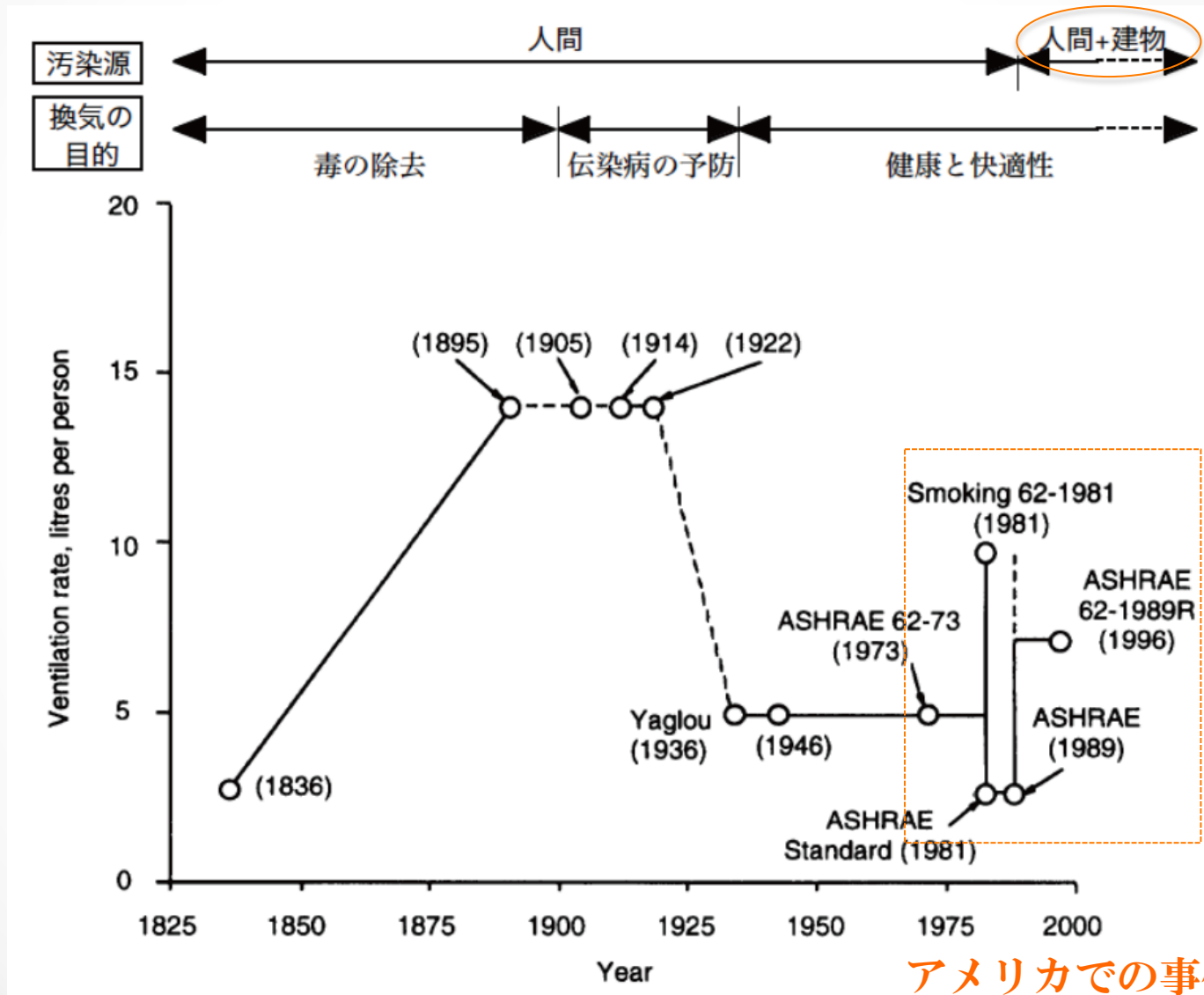
ビルディングの環境衛生基準 に関する研究

昭和41年3月



昭和40年度厚生科学研究

換気哲学と必要換気量の変遷



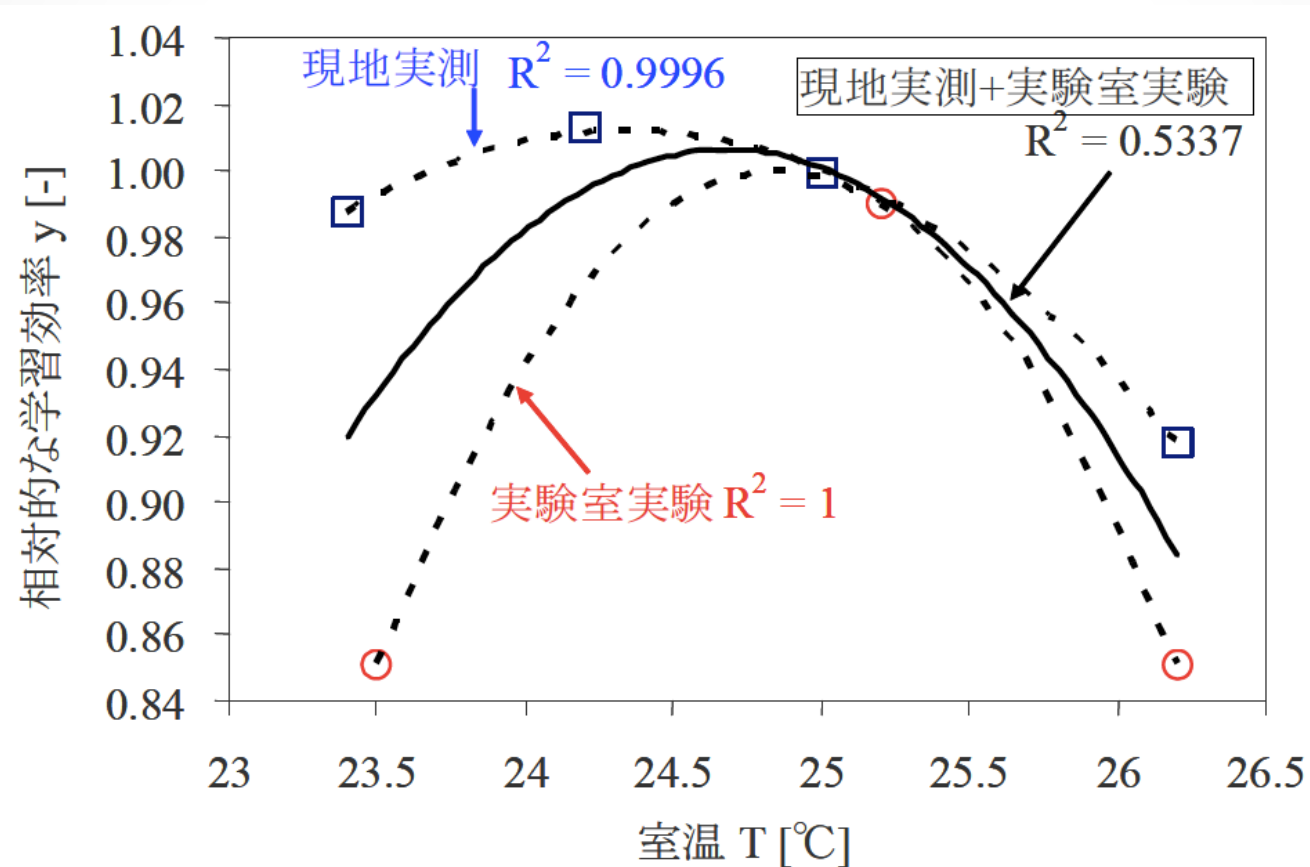
知的生産性とCO₂

- CO₂自体の有害性について

濃度	作用
5500ppm	6時間暴露して何の症状もない
1~2%	不快感がおこる
3%	呼吸中枢が刺激されて呼吸が増し、脈拍、血圧が上昇する
4%	頭痛、めまい、耳鳴り、動悸などの症状が起こる
5%	息こらえができなくなり、30分間で中毒症状が起こる
6%	呼吸が激しく、呼吸困難となる
7~10%	数分間で意識不明となり、チアノーゼが起こり、死亡する

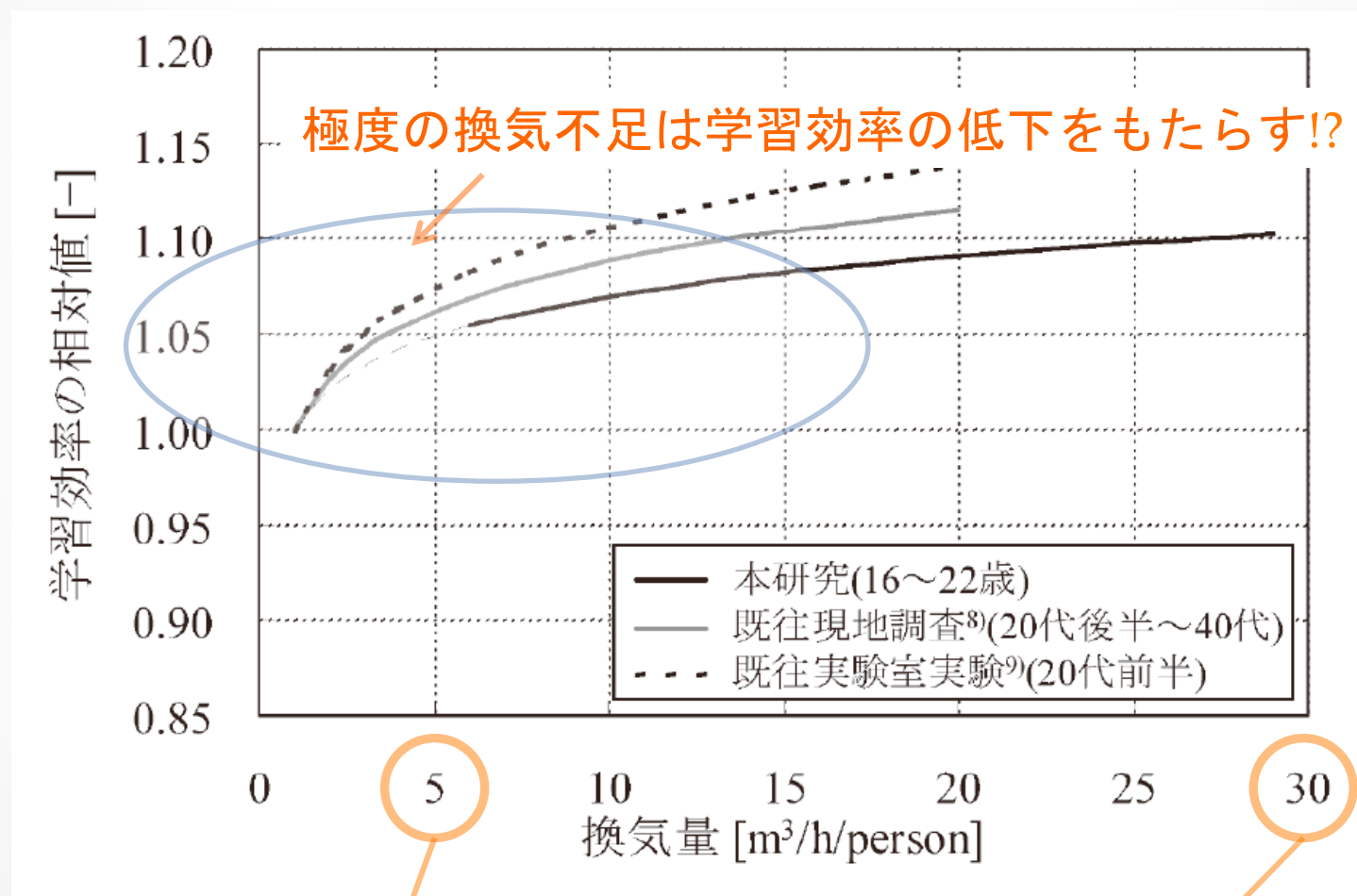
- SHASE S-102では、CO₂の単独指標 → 3500ppm
 - 1000ppm程度 → 呼吸・循環と脳の電気活動に著しい変化を起こすという研究も・・・
 - 血液中の酸素濃度には影響がある筈

温度と学習効率との関係



温度は学習効率に影響する！？

換気量と学習効率との関係



CO₂:4000ppm

CO₂:1000ppm

By 伊藤ら

意志決定能力への影響

- Fisk, Ushaらによるdecision making についての実験
 - 22名の被験者
 - CO₂濃度600ppm（人体）, 1000ppm（人体+CO₂ガス）, 2500ppm（人体+CO₂ガス）
 - Strategic Management Simulation (SMS)による評価

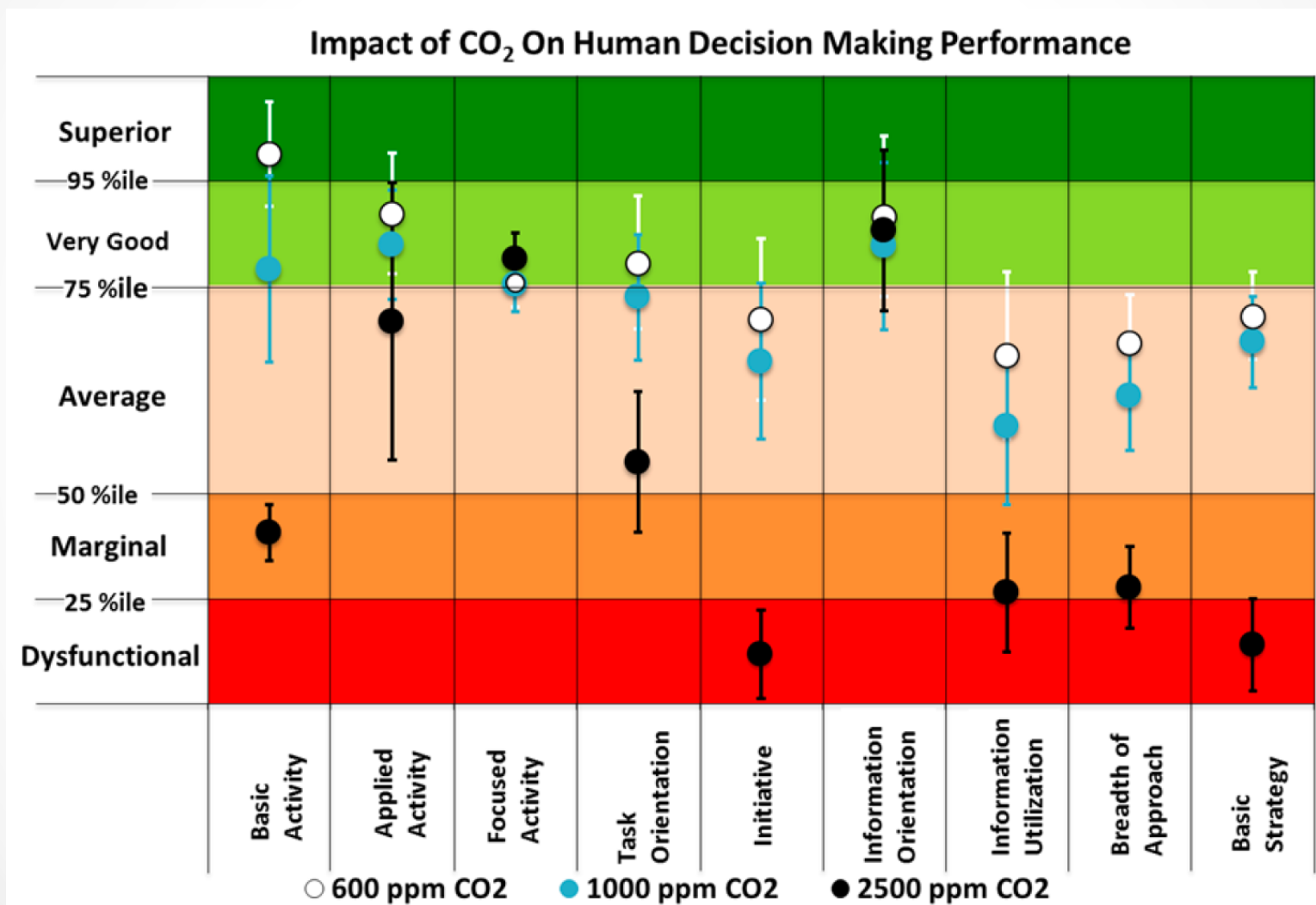
Variables	Ratios of condition scores ^a		
	Score at 1,000 ppm/ score at 600 ppm	Score at 2,500 ppm/ score at 1,000 ppm	Score at 2,500 ppm/ score at 600 ppm
Basic activity	0.85 [#]	0.65 [#]	0.56 [#]
Applied activity	0.83 [#]	0.64 [#]	0.53 [#]
Focused activity	0.99	1.22 [#]	1.20 [#]
Task orientation	0.89 ^{**}	0.40 [#]	0.36 [#]
Initiative	0.82 [*]	0.09 [#]	0.07 [#]
Information search	1.06	0.97	1.03
Information usage	0.77 [#]	0.40 [#]	0.31 [#]
Breadth of approach	0.84 [#]	0.30 [#]	0.25 [#]
Basic strategy	0.88 ^{**}	0.07 [#]	0.06 [#]

df, degrees of freedom.

^ap-Values based on F-test, df = 1,21, calculated for difference between score in numerator and score in denominator.

* $p < 0.10$. ** $p < 0.05$. # $p < 0.01$.

意志決定能力への影響



CO₂濃度の影響を受けるものと受けないものがある

意志決定能力

- CO₂の影響が大きいもの
 - Basic Activity (基本的な行動について)
 - Initiative (統率力)
 - Information Utilization (情報の利用方法)
 - Breadth of Approach (取り組み方法の幅)
 - Basic Strategy (基本的な戦略)
- CO₂の影響が認められるもの
 - Applied Activity (応用的な行動)
 - Task Orientation (仕事の方向付け)
- CO₂の影響がみられないもの
 - Focused Activity (目的のはっきりした行動)
 - Information Search (情報検索)

おわりに

- お話した内容
 - CO₂濃度1000ppm問題とは
 - 換気哲学の変遷
 - 人間の体臭とCO₂
 - 知覚空気質の考え方とCO₂
 - CO₂濃度が1000ppmと決められた経緯
 - 知的生産性とCO₂

「人体発生CO₂の濃度は1000ppm以下でなければならないか？」