「涼しさ」を感じる気流に関する屋外での実測とその解析

AN ANALYSIS ON THE OUTDOOR AIR MOVEMENT PROVIDING WITH 'SUZUSISA' SENSATION

齊藤雅也*, 宿谷昌則**
Masaya SAITO and Masanori SHUKUYA

This paper describes the relationship between 'suzusisa' sensation and the variation of air velocity obtained from the field measurement with subjective experiment. A female adult participated in the experiment as the subject. 'Suzusisa' sensation is a thermal sensation which we may have in a hot and humid environment with some breeze; 'suzusisa' is a Japanese word which exactly indicates this sensation.

We found that the subject does not necessarily feel 'suzusisa' sensation as she is exposed to an environment in which the air movement is strong. It is possible to feel 'suzusisa' sensation even with a relatively small air velocity after she is exposed long enough to an environment in which the air movement is still. According to the Fourier analysis, the spectra of the air velocity during the periods in which she had 'suzusisa' sensation is larger than that during the periods in which she did not. Normalized air velocity obtained from the spectra, the amplitude of the normalized air velocity during the period in which the subject had 'suzusisa' sensation is twice that in which she did not. The characteristics of the wave of the normalized air velocity is to increase suddenly and then decrease exponentially; this is considered essential to provide with 'suzusisa' sensation.

Keywords : 'Suzusisa' Sensation, Air Velocity, Fourier Analysis, Wave
「涼しさ」、気流速度、フーリエ解析、波形

1. はじめに

寺田は、1929年と1933年に著した随筆の中で、『涼しいということは温度の低いということとは意味が違ふ。暑いという前提があって、それに特殊な条件が加わって始めて涼しさが成立するのである』¹⁾、あるいはまた、『涼しさは暑さとつめたさとが適当なる時間的空間的週期をもって交代する時に生ずる感覚である』²⁾と指摘し、『われわれ日本人のいわゆる「涼しさ」はどれも日本の特産物ではないかという気がする』²⁾と述べた。わが国の建築には、寺田のいう「涼しさ」が得られる工夫がもともとあったと考えられる。例えば、深い軒や庇は夏の強い日射をうまく遮蔽し、庭木があれば、木陰を抜けて室内に入ってくる風は、在室者に「涼しさ」を与えることが期待できる³⁾。

しかしながら、特に1960年代以降、このような暑さを防ぎ「涼しさ」を得る工夫は、冷房機器によって取って代わられるようになった。冷房は一般に、室内空気温度を下げ、均一な室内熱環境をつくりだすものなので、寺田の指摘したような「涼しさ」を得ることは難しく、むしろしばしば「冷房病」と呼ばれるような「冷たさ」や身体の「だるさ」を感じる事が少なくない^{4) 5)}。

筆者らは、日本の風土にふさわしい夏の建築環境を実現するためには、「冷たさ」がつくられる冷房ではなくて、「涼しさ」が得られる「涼房」の技術を開発するべきだと考える^{6) ~ 8)}。「涼しさ」をもた

らす技術を開発するためには、まず寺田の指摘したような「涼しさ」が、どのようなメカニズムでもたらされるのかを改めて明らかにする必要がある。

暑さを和らげるための通風や人工気流の活用に関する研究は、これまでに少なからずある。例えば、人工気候室内で、定速気流と周期的に変動する気流を強制的に被験者にあてる実験や、被験者に好みの気流速度を選択させる実験を行ない、被験者がどのような温冷感覚や気流感覚を持つのか解析した研究^{9) ~ 14)}や、被験者による気流知覚の実験を屋外環境で行ない、快適感とSET[®]の関係を求めた研究¹⁵⁾、室内環境で被験者が受ける「平均気流速度の大きさ」が気流の変動感・速度感に大きな影響を与えることを示した研究¹⁶⁾などが挙げられる。さらに通風とエアコンによる気流性状の違いに着目した研究では、室内環境で被験者が気流を感知する時間幅¹⁷⁾や気流速度スペクトル^{18) 19)}を求めた例がある。

一方、荒谷らは、建物の内外で熱環境実測を行ない、「爽やかさ」や「涼しさ」をもたらしめているのは、空気温湿度や気流速度の微妙な変化ではないかという考察をするとともに、PMVのような一本化された温冷感指標では「涼しさ」を定量化することは難しいと指摘している^{20) 21)}。久野らは「2次元温冷感モデル」を提案し、「涼しい」や「暖かい」などの心理的反応の説明を試みている²²⁾。また、

本論文は、1998年9月に行なわれた日本建築学会大会(九州)で発表した文獻(25, 26)を修正・加筆したものである。

* 武蔵工業大学大学院工学研究科建築学専攻
客員研究員・修士(工学)

** 武蔵工業大学大学院工学研究科建築学専攻・環境情報学部
教授・工博

Visiting Scientist, Graduate School of Building Science, Musashi Institute of Technology, M. Eng.

Prof., Graduate School of Building Science, Faculty of Environmental and Information Studies, Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

Bakerは、熱的ストレスが生じないようにするためには、定常的な中立環境を冷暖房機器によって調整するのではなくて、建築的デザインの工夫や居住者自身の住まい方を適度に調整することであると指摘している²³⁾。しかしながら、寺田の指摘した「涼しさ」が、環境を構成する主たる物理量がどのような仕方で変化するときを生じるのかに着目して行なった研究はこれまでにない。

本研究では、寺田の指摘した「涼しさ」を定量的に明らかにするために、夏季の屋外環境で被験者実測をおこなった。本報告では、「涼しさ」が得られるときと得られないときの物理量の解析を行ない、特に気流速度の波形の違いについて明らかにした結果を述べる。

2. 実測概要

実測は、武蔵工業大学世田谷キャンパス内にある図書館前の道路上で、1997年8月1日17:05～17:35と9月5日16:07～16:37に行なった。この図書館前の道路は、4階建て建物の東側を南北に走り、両側に高さ10mを越えるケヤキの枝葉が頭上を覆っている。実測両日は晴天であったが、ケヤキの枝葉が十分な日射遮へい効果を発揮して、被験者の体や路面には日射はほとんど入射しなかった。また、道路に沿って風が断続的に吹いていた。したがって、この場所は「涼しさ」についての実測を行なうのにふさわしいと判断した。

被験者は、両日ともに健康な成年女子1名とした。被験者の服装は、両日とも下着に加えて上半身が半袖ブラウス、下半身が膝丈程度のスカートとした。着衣量は、8月1日が0.37clo、9月5日が0.42cloであった。被験者は、全身もしくは身体のどこか一部でも「涼しさ」が得られたときに口頭で「涼しい」と記録者に伝え、記録者はその時刻を記録した。

被験者を1名に限定した理由は、次のとおりである。寺田のいう「涼しさ」は、それを感じる人と感じない人がいるというものではなく、一人ひとりが「涼しさ」を感じる 때가あったりなかったりということである。「涼しさ」が得られているときと得られていないときの双方が一人の被験者に存在するとすれば、環境を構成する物理要素、特に気流速度の波形に相対的な違いがあって、それが「涼しさ」を与えるか否かを定めるであろうと予想される。このことをまず被験者一人について吟味したいと考えた。多数の被験者を対象にする研究は、次の段階で行なう方がよいと判断した。

温熱環境に関わる物理量の測定は、写真に示すように、椅子にすわった被験者から1m程度離れたところで、空気温度・グローブ温度・相対湿度・気流速度を小型データロガー(江藤電気・2100A)に2秒間隔で連続計測した。空気温度とグローブ温度の測定は0.2mmφc-c熱電対で、相対湿度は静電容量式の温湿度センサー(江藤電気・2119A)で測定した。気流速度は、予め実測開始前に主風向を確認して、被験者が測定に影響を与えないような位置で、0.02m/s程度の微風速まで測定可能な微風速計(DANTEC・54R10と54N50)を用いて測定した。気流速度の瞬時的な変化を対象とするには、測定間隔が2秒では粗すぎるかもしれない。しかし、本研究では「涼しさ」が得られるときと得られないときの気流速度の大まかな波形を抽出することを主たる目的としたので、2秒間隔でよいと判断した。

3. 結果と考察

3-1. 「涼しさ」と物理量

図1は、8月1日の実測の最初の5分間(17:05～17:10)における空気温度・平均放射温度の経時変化と被験者の「涼しさ」申告を示し

写真 実測風景 (1997年9月5日16:00頃)

図1 8/1の空気温度・平均放射温度と「涼しさ」申告

図2 8/1の気流速度と「涼しさ」申告

図3 9/5の気流速度と「涼しさ」申告

たものである。空気温度は28～29℃、平均放射温度は29.5～32.5℃を推移している。被験者やその周囲の地表面には、直達日射がほとんど当たっていないので断続的に「涼しさ」が得られている。「涼しさ」の申告は、図中のAやBのように、10秒から40秒間連続して得られる場合もあれば、Cのように、ほとんど瞬間的に得られる場合もある。「涼しさ」の申告と、適度に揺らいでいる空気温度や平均放射温度の間には明確な関係があるようには見えない。17:10～17:35についても図1の結果と同様の傾向が見られた。相対湿度についても同様であった。相対湿度は68～69%であった。

9月5日についても8月1日と同様に断続的に「涼しさ」は得られていた。9月5日の空気温度は27.5～28.5℃、平均放射温度は27～28.5℃、相対湿度は64～68%を推移していたが、空気温度、平均放射温度や相対湿度の揺らぎと「涼しさ」申告との間に相関があるかどうかはやはりわからなかった。

図2と図3は、8月1日と9月5日のそれぞれ実測の最初の5分間における気流速度の経時変化と被験者の「涼しさ」申告を示したものである。8月1日は、気流速度がおおむね0.5m/sを超えている場合に、被験者は「涼しさ」を感じている。一方、9月5日は、気流速度が8月1日よりも全般的に高い。しかし、気流速度がある値より大きいときに「涼しさ」が得られるという8月1日で読みとれた傾向は見られない。「涼しさ」が得られるためには0.5m/s程度以上の気流速度が必要であるけれども、気流速度が0.5m/s以上あれば、ただちに「涼しさ」が得られるわけではなさそうである。

図4は、両日における気流速度ごとに「涼しさ」が得られた割合を示したものである。縦軸は、ある気流速度において「涼しさ」が得られた回数をその気流速度の実測値の個数で除したものである。8月1日は、気流速度が0.5～1.5m/sの範囲で、9月5日は0.5～3.0m/sの範囲でそれぞれ「涼しさ」が得られている。気流速度の値が大きければ大きいほど、「涼しさ」が得られるということではないことがわかる。8月1日の平均気流速度は、9月5日のそれに比べて小さかったため、「涼しさ」は、平均気流速度の大きさだけではなくて、気流速度の増減にあるのではないかと推測できる。

図5は、気流速度の差と「涼しさ」が得られた回数の関係を示したものである。気流速度の差とは、「涼しさ」が申告されたときの気流速度の値から、その2秒前（計測データとして1個前）の気流速度を引いた値である。この図は、差が正の値として出た場合、すなわち気流速度が大きくなって「涼しさ」が得られた場合のみ示しているが、負の値で出た場合も絶対値を取れば、図5とほぼ同様のかたちになった。両日も気流速度の差が0m/sのとき、つまり気流速度に変化がないときは「涼しさ」が得られていない。差が0m/sより大きく、おおむね0.4m/s以下のときに「涼しさ」が顕著に得られている。また、差が0.5m/s以上では、「涼しさ」はあまり得られていない。

「涼しさ」を感じるには、「涼しさ」を感じ始めるまでの「涼しさ」を感じていない時間の長さが関係しているのではないかと考え、8月1日について、「涼しさ」を感じていない時間の長さ、その時間経過の後に「涼しさ」を感じ始めた時点での気流速度との関係を調べた。その結果を図6に示す。「涼しさ」を感じていない時間が短いほど、「涼しさ」を得るには大きな気流速度が必要で、逆に時間が長いほど、比較的小さな気流速度でも「涼しさ」を感じる傾向がみとれる。

図6で明らかになった現象を人体内部での熱エネルギーの蓄積とその放出する速さに着目して考察すると、暑熱環境下で「涼しさ」を感じていない時間が長く続くときは、人体内部へ熱エネルギーが蓄積され続け

図4 各気流速度で「涼しさ」が得られる割合

図5 気流速度の差と「涼しさ」を感じた回数

図6 「涼しさ」を感じていない時間とその時間経過後に「涼しさ」を感じたときの気流速度の大きさ

図7 「涼しいとき」と「涼しくないとき」の気流速度

て、かなりの量の熱エネルギーが人体に蓄えられていることになる。このときは、「涼しさ」を感じていない時間が短いときより、皮膚表面温度と周囲空気温度の差が比較的大きくなっていると考えられることができる。そのため、小さな気流速度でも、人体内部で蓄えられた熱エネルギーの放出する速さは大きいので、「涼しさ」を感じることができたのではないかと考えられる。逆に「涼しさ」を感じていない時間が短ければ、人体内部での熱エネルギーの蓄積が小さく、皮膚表面温度と周囲空気温度の差はあまり大きくなり、「涼しさ」を感じるのには比較的大きな気流速度が必要になるということではないかと考える。

3-2. 「涼しさ」が得られるときの気流速度の波形

「涼しさ」が得られているときと得られていないときのそれぞれについて、気流速度の波形の違いを明らかにするためにフーリエ解析をおこなった。8月1日と9月5日の気流速度の経時変化から、図7に示すような連続的に「涼しさ」が得られているとき（涼しいとき）と、連続的に「涼しさ」が得られていないとき（涼しくないとき）の16秒間の気流速度データをそれぞれ16サンプルずつ抜き出した。実測データは2秒間隔なので、それが2秒間ずつ続いたとして1秒ごと16個のデータを解析の対象とした。なお、1サンプルを16秒間ずつにした理由は、両日とも、10～20秒間の長さで「涼しさ」が得られていることが最も多かったことと、フーリエ変換によるスペクトルの算出は、変換を行なう前の元のデータが 2^n 個あるときに可能なので、 $n=4$ のとき、すなわち $16(=2^4)$ 個のデータを用いるのが妥当だと判断したからである。

フーリエ変換を行なう前に、「涼しいとき」と「涼しくないとき」のそれぞれ16サンプルの乱れがどの程度なのかを計算した。サンプルそれぞれの平均値と標準偏差値から、乱れの強さ（＝標準偏差値／平均値）を求めた。8月1日の「涼しいとき」と「涼しくないとき」の乱れの強さの平均はそれぞれ0.44と0.05、9月5日はそれぞれ0.14と0.08であった。「涼しいとき」の乱れの強さは、「涼しくないとき」のそれに比べて大きい。

図8は、16サンプルずつ抜き出した「涼しいとき」と「涼しくないとき」の気流速度のデータを、フーリエ変換によって得たスペクトル分布である。一つの周波数に対して、「涼しいとき」と「涼しくないとき」のそれぞれについて16個のプロットがある。「涼しいとき」の方が、「涼しくないとき」よりも周波数ごとにおけるスペクトルの値が大きい。これは、気流速度の波形が、異なる振幅をもつcos波とsin波の足しあわせで表せることを考えると、「涼しいとき」の気流速度を構成している波の振幅が、「涼しくないとき」のそれに比べて大きいことを意味している。

図8に示したスペクトルの違いからだけでは、「涼しさ」が得られる気流速度の波形そのものを直接見ることはできない。また、8月1日と9月5日の両日において、「涼しいとき」の16サンプルと「涼しくないとき」の16サンプルはみな、気流速度の変動する範囲が異なる。そこで、波形を露わにし、「涼しいとき」と「涼しくないとき」の気流速度の振幅や増減の仕方がどの程度違うのかについて定量的に示したいと考え、「涼しいとき」と「涼しくないとき」の周波数ごとのスペクトルを用いて計算できる以下に示す式（1）の $v(t)$ の値を比較することにした。

フーリエ変換によって得られた周波数ごとのスペクトル群は、変換の対象とした気流速度を構成するcos波とsin波の相対的な重みを表し

図8 「涼しいとき」と「涼しくないとき」のスペクトル分布

図9 正規化した気流速度の経時変化

表1 0Hzでのスペクトルの平均値と標準偏差値

	平均値	標準偏差値
8/1「涼しいとき」	22.03	2.45
8/1「涼しくないとき」	3.23	0.84
9/5「涼しいとき」	23.92	8.00
9/5「涼しくないとき」	10.86	3.49

図10 8/1「涼しいとき」と9/5「涼しくないとき」のスペクトル分布

ている。したがって、 $v(t)$ の値は気流速度の実際の値を与えるものではない。そこで、この $v(t)$ の値を「正規化した気流速度」と呼ぶことにする。

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^8 (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (1)$$

$$\omega = 2\pi f_0 \quad (2)$$

a_n と b_n は、それぞれ $\cos$ 波と $\sin$ 波の周波数ごとの振幅の大きさである。 ω は基本角速度、 f_0 は基本周波数。本研究では $f_0=1/16=0.0625\text{Hz}$ 。三角関数の合成より、式(1)は、次式(3)のように書き換えることができる。

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^8 d_n \sin(n\omega t + \alpha_n) \quad (3)$$

$$d_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (4)$$

ここで、

$$\alpha_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} \quad (5)$$

である。

図8に示した周波数ごとのスペクトルは、式(3)に現れる a_0 と d_n である。 a_0 と d_n は、「涼しいとき」と「涼しくないとき」のそれぞれ16サンプルごとに得られたので、その平均値を求め、その結果を正規化した気流速度 $v(t)$ の計算に用いることにした。なお、式(3)中の α_n は、正規化した気流速度 $v(t)$ の位相差であるが、この値は、フーリエ変換からは直接得られない。 $v(t)$ の位相差 α_n の違いは、気流速度の振幅や増減の仕方に影響を与えないので、ここでは正規化した気流速度 $v(t)$ の値を具体的に求めるために、 $a_n=b_n$ 、すなわち $\alpha_n=\pi/4$ と仮定して計算を進めることにした。

図9は、図8の周波数ごとのスペクトル平均値を使って求めた8月1日と9月5日の「涼しいとき」と「涼しくないとき」のそれぞれにおける正規化した気流速度である。横軸は時間を表し、フーリエ変換に用いた1サンプルの時間の長さ(=16秒間)を1周期と考えたときの2周期分に相当する32秒間を示している。

9月5日の「涼しいとき」の正規化した気流速度は、8月1日と9月5日の「涼しくないとき」のそれらよりも大きい。8月1日の「涼しいとき」の正規化した気流速度は、9月5日の「涼しくないとき」のそれよりもやや大きい。表1は、これら4つの正規化した気流速度の0Hzでのスペクトルの平均値(a_0 の平均値)と標準偏差値を示したものである。8月1日の「涼しいとき」のスペクトル平均値は12.03で、9月5日の「涼しくないとき」の10.86よりも約1.2大きい。0Hzでのスペクトル平均値は、正規化した気流速度の中心軸であるので、この差は正規化した気流速度の平均値としての差である。一方、図9で、8月1日の「涼しいとき」の正規化した気流速度の振幅は5程度であるのに対し、9月5日の「涼しくないとき」の振幅は2.5程度で、その差は2.5である。この値は、0Hzでのスペクトル平均値の差1.2よりも大きい。したがって、この振幅の大きさが、「涼しさ」を与えるか否かに重要な役割を果たしていると考えられる。

図11 中心軸をそろえた正規化した気流速度の経時変化

図8に示したスペクトルから、8月1日の「涼しいとき」のスペクトル、9月5日の「涼しくないとき」のスペクトルを、0.0625～0.5Hzについて抜き出したものを図10に示す。8月1日の「涼しいとき」の方が、9月5日の「涼しくないとき」よりも全体的にスペクトルが大きい。

図11は、図9に示した正規化した気流速度から、表1に示した0Hzでのスペクトル平均値を差し引いた値である。0Hzでのスペクトル平均値を差し引いているので、縦軸は、正規化した気流速度の波の中心軸をそろえたものとして表現されていることになる。8月1日、9月5日ともに、「涼しいとき」の方が「涼しくないとき」よりも、正規化した気流速度の振幅が大きいことがわかる。振幅の差は、2倍以上ある。図11に示した正規化した気流速度の波形は、いずれも、急激な上昇に引き続くゆっくりとした下降である。この変化の仕方が大きいと、「涼しさ」が得られるといえる。これが、寺田の指摘した「涼しさ」の特徴と考える。8月1日の「涼しいとき」の正規化した気流速度と9月5日の「涼しくないとき」のそれとの間のどこかに、「涼しさ」が得られるか得られないかの境界があると考えられる。

4. まとめ

「涼しさ」が得られる気流について夏季の屋外環境での被験者実測と解析を行なった結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 「涼しさ」が得られるには、約0.5m/s以上の気流速度が必要であるけれども、気流速度が大きければ大きいほど得られるわけではない。
- 2) 気流速度の変化が2秒の間に0.4m/s以内であったときに「涼しさ」がよく得られる。変化が0.4m/s以上あっても「涼しさ」はあまり得られない。
- 3) 「涼しさ」が得られていない時間が長いほど、比較的小さな気流速度で「涼しさ」は得られ、逆に短いと、「涼しさ」が得られるのには大きな気流速度が必要である。

- 4) 「涼しさ」が得られているときの気流速度の乱れの強さは、「涼しさ」が得られていないときのそれに比べて大きい。
- 5) 「涼しさ」が連続して得られるときの正規化した気流速度は、「涼しさ」が得られないときのそれと比較して、振幅が2倍以上大きく、波形の特徴は、急激な上昇に引き続くゆっくりとした下降である。

今後、被験者数を増やしていくことで、「涼しさ」が得られるときの気流速度の普遍的な波形を明らかにしていく必要があると考える。また、普遍的な波形が明らかになったとして、それが室内の所要の場所で得られるような窓の配置・大きさや日除けがどのようなものなのかを明らかにしていくことも必要と考える。

謝辞

本研究は、当時、武蔵工業大学卒業生であった北條厚子氏（現、新日軽株式会社）と袴塚倫実氏（現、相鉄不動産株式会社）の協力によって行なうことができました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 寺田寅彦：さまよえるユダヤ人の手記より、寺田寅彦全集第三巻（初出「思想」1929年9月）、岩波書店、1997、pp.196-205。
- 2) 寺田寅彦：涼味致趣、寺田寅彦全集第三巻（初出「週間朝日」1933年8月）、岩波書店、1997、pp.339-346。
- 3) 小玉祐一郎：住宅における防暑・採涼の技術、IBEC、1983年6月、pp.14-21。
- 4) 大野秀夫：夏の涼しい暮らし、自然と住まいの環境（堀越哲美・澤地孝男編）、彰国社、1997、pp.75-87。
- 5) 松岡弘幸・斉藤雅也・宿谷昌則：暑さへの対処方法が温冷感覚と冷房用エネルギー消費量に与える影響、日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集（環境工学II）、1998、pp.457-458。
- 6) 宿谷昌則：涼房について、日本住宅協会雑誌、1982、pp.68-71。
- 7) 木村建一：涼房、建築雑誌、Vol.102, No.1255、1987年1月、p.54。
- 8) 宿谷昌則：自然共生建築を求めて—その12、冷やす—、ライブエナジー、No.53、1996、pp.12-17。
- 9) 窪田英樹：室内気流と体感、空気調和・衛生工学 第58巻 第3号、昭和59年3月、pp.33-38。
- 10) 木村建一・田辺新一・原俊広・秋元孝之・秋山尚之・岩田利枝・田宮建司・近岡正一：夏季の通風・室内気流が体感に及ぼす影響に関する研究（その1～その4）、日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集（環境工学）、昭和62年10月、pp.335-342。
- 11) 久保博子・磯田盛生・梁瀬度子：定速気流と周期的変動気流の人体影響について、家政学研究報告集、Vol.32, No.1、1985年9月、pp.98-104。
- 12) 桑沢保夫・斉藤基之・鎌田元康・千田善孝：変動風の快適性に及ぼす影響に関する研究（その7 定常風及び変動風の対流熱伝達率）、日本建築学会大会（北海道）学術講演梗概集（環境工学II）、1995年8月、pp.375-376。
- 13) H. Kubo, N. Isoda and H. Enomoto-Koshimizu : Cooling Effects of Preferred Air Velocity in Muggy Conditions, *Building and Environment*, Vol. 32, No. 3, 1997, pp. 211-218.
- 14) E. Arens, T. Xu, K. Miura, Z. Hui, M. Fountain and F. Bauman : A Study of Occupant Cooling by Personally Controlled Air Movement, *Energy and Buildings* 27, 1998, pp. 45-59.
- 15) 石井明夫・片山忠久・塩月義隆・吉水久雅・安部嘉孝：屋外環境における快適感に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集 第386号、昭和63年4月、pp.28-37。
- 16) 梶原典子・石井昭夫・片山忠久・西田勝・堤純一郎：通風環境における気流知覚に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集 第385号、昭和63年3月、pp.1-8。
- 17) 梅宮典子・松浦邦男：夏季通風環境における気流感知時間率の快適性評価に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文報告集 第440号、1992年10月、pp.21-29。
- 18) 梅宮典子・松浦邦男：夏季通風環境における快適性評価と気流速度スペクトルについて、日本建築学会計画系論文報告集 第461号、1994年7月、pp.51-59。
- 19) 木村建一・田辺新一・川原井大・伊藤昭・桑沢保夫：夏季の通風・室内気流が体感に及ぼす影響に関する研究（その5. 実測によるそよ風と人工気流の性状比較）、日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集（環境工学）、昭和62年10月、pp.343-344。
- 20) 芥川郁雄・佐々木隆・林基哉・橋本直樹・荒谷登・赤木一郎：夏期の町家に見られる変動気流下でのPMVの実測調査—開放型住居の体感指標に関する研究 その1—、日本建築学会北海道支部研究報告集、No.60、昭和62年3月、pp.13-16。
- 21) 大林勇・石田秀樹・荒谷登：空気温湿度・気流速変動からみた木影の爽やかさに関する研究、日本建築学会北海道支部研究報告集、No.68、1995年3月、pp.325-328。
- 22) 久野覚：寒暑と涼暖、快適環境の科学、朝倉書店、1993、pp.43-56。
- 23) N. Baker: The Irritable Occupants : Recent Developments in Thermal Comfort Theory, *Architectural Research Quarterly*, Vol.2, Cambridge, 1996, pp. 84-90.
- 24) トランスナショナルカレッジ オブ レックス：フリーエの冒険、言語交流研究所 ヒポファミリークラブ、1988。
- 25) 北條厚子・袴塚倫実・斉藤雅也・宿谷昌則：『涼しさ』感に関する研究 その1、『涼しさ』感に関わる物理量、日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集（環境工学II）、1998、pp.451-452。
- 26) 袴塚倫実・北條厚子・斉藤雅也・宿谷昌則：『涼しさ』感に関する研究 その2、『涼しさ』感が得られる気流速度の変動の大きさ、日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集（環境工学II）、1998、pp.453-454。

(1998年7月23日原稿受理、1999年3月26日採用決定)