温度変動が真菌の増殖性状に与える影響

温・湿度の制御による室内真菌汚染の防止に関する研究 その1

INFLUENCES OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE VARIATION
ON THE FUNGAL GROWTHStudies on the prevention of fungal contamination by controlling temperature and humidity
in indoor environment Part 1

湯 懷鵬*, 吉澤 晋**

Huaipeng TANG and Susumu YOSHIZAWA

This is to report the results of studies on the growth of fungi under two types of combination of temperature and humidity conditions:(a) constant temperature and humidity and (b) constant relative humidity with varying temperature. The temperature variation was simulated to sine curves with 24 hours cycle. The groups of fungi tested were *Cladosporium sphaerospermum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus niger* and *Penicillium funiculosum*. The results show that every fungi, in environmental temperature variation cycles, are affected on the growth speed and on the time required in germination. It proved that these variable factors should be adopted in future studies.

Key words: fungus, growth, temperature variations, relative humidity, growth speed

真菌, 増殖, 温度変動, 相対湿度, 成長速度

1. はじめに

居住環境における真菌類は, 匂い, 不快感, 喘息その他のアレルギー, あるいは家財の汚れ・損壊など^{1)~5)}生活妨害の原因として社会問題となっており, その汚染防止対策について近年多くの研究がなされている。

真菌の増殖温湿度条件などに関する研究は, 建材などの表面汚染を防止するためだけではなく, この表面汚染の防除に基づいて, さらに, 室内における空中浮遊真菌微粒子の汚染制御の達成を狙うことを目的として行なわれている。

室内の空中浮遊微生物は, 細菌については人及びその活動によって発生し, 空中濃度は, 在室人数の多少, 活動量に比例して変化する。一方, 真菌については, 直接人体からの発生はなく, 衣服, 建物の壁面, 天井面, 空調設備のダクト内などに増殖した菌が人の活動などにより空中に飛散して空中濃度を構成すると言われている。

空中浮遊真菌の汚染を防止するためには, 特殊な環境ではエアフィルタ (例えばHEPAフィルタなど) で取り入れ空気を濾過し, 室内換気などによって空中浮遊微生物粒子をコントロールすることもできるが, 一般建築環境にとっては, 室内にある真菌汚染源の増殖及びそれからの汚染微粒子の更なる発生を防ぐことがもっと現実で有効であると考えられる。

真菌類汚染源の増殖を阻止するには, 増殖する環境条件の把握が必要であり, その中で, 室内仕上げ材などにおける一年を通じての真菌の増殖は, 室内の温度, 湿度の影響が最大の要因の一つであると推測される。

真菌の成長に対する室内空気中の温湿度条件には, 既の実験によって確かめられている部分もある。例えば, 真菌のコロニー形成メカニズムに関する Trinci⁶⁾, 菅原ら⁷⁾, Pirt⁸⁾ の結果, 一定温度条件での菌類の発育についての Cochrane⁹⁾, Wolf & Wolf¹⁰⁾, Deverall¹¹⁾ の

* 新菱冷熱工業(株) (当時東京理科大学大学院)・Shinryo Corporation, Dr. Eng.
工博

** 東京理科大学工学部 教授・工博

Prof., Faculty of Eng., Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

結果、さらに室内環境における菌の成長及びその温湿度範囲条件あるいは風、材料の湿気の影響などに関しては、四十年前の大槻¹²⁾、斉藤ら¹³⁾、及び最近の菅原¹⁴⁾、¹⁵⁾、小峯¹⁶⁾の一定温湿度条件の組み合わせにより求めた結果^{注1)}などが挙げられるが、工学的解決・改善策に通ずる十分な資料体系は得られていない。特に実際に室内に出現している気候条件による影響は、まだつかまれているのが実状である。

実際の環境における気候条件の特徴の一つには、周期的な温・湿度の同時変動があるが、実験条件（設備・計器など）などの制限も相まって、これを考えた実験、実測はほとんど行われていない。

本論文では4種類の真菌の各温湿度条件（温度一定と湿度一定、温度変動と相対湿度一定など）における増殖性状の比較結果について報告する。

2. 建築環境における代表的な温湿度条件

室内環境において、空調・換気設備による温・湿度などを調節する場合、居住者の快適性などを考慮し、一定の温度、相対湿度値が設定されることが多い。外気条件などの熱負荷及び水分移動の変動でその制御誤差は多少あるが、微小な範囲に限られていると考えられる。

しかし、もっと一般的な、空調設備をつけていないあるいは、運転していない室内には、建物内外の変動的な熱負荷によって室内の温度条件が周期的な日変動が起こる。同時に室内の湿度条件も水分移動及び温度条件の変動につれて非定常状態になると予想されるが、室内にある吸・放湿材料の作用効果により、次の二つの理想的（あるいは特殊的）な変動状態に分けられる。すなわち、吸・放湿材料が完全な調湿作用を発揮し、室内の相対湿度が一定状態に保ちつつあるもの（絶対湿度が変動）と、吸・放湿材料が全くないあるいは全く作用せずしかも室内と外部との間には全く水分移動がなく、室内の絶対湿度が一定状態に保ちつつあるもの（相対湿度が変動）である。

実際の環境条件として、このような理想的な状態に近い例もある^{注2)}が、一般的な室内条件は恐らくこの二つの理想的な状態の中間に介して、いずれの方に寄り付く状況であると考えられる。

本研究においては、環境条件の代表性と問題の簡略化のため、以上のような環境条件をモデル化し、次の三つの典型的な温・湿度変動条件にまとめた。

- (1) 温度が一定、相対湿度、絶対湿度が一定
- (2) 温度が変動、相対湿度が一定
- (3) 温度が変動、絶対湿度が一定

本報告はこの三つの代表的な温湿度条件のうち前2種類を用い、温度変動が真菌の成長性状に与える影響について実験しその結果をまとめたものである。

3. 温・湿度のシミュレーション方法

温・湿度の制御方法は多数あるが、運転の安定性と本研究への適合性などを考慮して次の方法を検討した。

3.1 市販試験チャンバーによる変動的溫度制御

この装置はプログラム制御によって温度、相対湿度などの経時変化シミュレーションが可能な環境創造装置と言われるもので、各種の試験、研究の環境条件の制御に用いられる。

実験装置は国立公衆衛生院建築衛生学部環境微生物実験室に設置されたが、実験テスト期間中室内温度が $25 \pm 5^\circ\text{C}$ で、湿度が $40 \pm 10\%$ であった。

実験テストは、高湿度領域の測定ができ長期に安定で他のガスの影響を受けにくい電気抵抗式温湿度データロガー（メーカーによる精度：温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $\pm 3.5\%$ ）^{注3)}によって行なった。

その変動的溫度の実測結果の一例を図-1に示す。

図-1 変動的溫度の制御結果

結果としてこの試験チャンバーによる温・湿度制御では、温度制御は一定温度と周期的な建築環境の気温の変動は多少の誤差があるものの^{注4)}、シミュレーションとして実用できると判断した。しかし、湿度の制御は運転の不安定、高湿区域での結露及び設定値との誤差の大きさなど^{注5)}から、本研究に適用するのは不適合だと考えられ、湿度の制御は使用しなかった。

3.2 相対湿度一定の制御方法

相対湿度が一定の環境を実現には、特定の塩類水溶液の平衡状態の表面付近、空気相の相対湿度が安定し、しかも塩類水溶液の濃度により異なるという原理を用い、図-2に示したように、密閉プラスチックケース（直径140mm、高さ30mm）の中に一定濃度の塩化カルシウム水溶液を入れ、内部の相対湿度を所用値とした^{注6)}。

表-1は塩化カルシウム水溶液の濃度と相対湿度との対応関係を示す¹⁷⁾が、筆者は図-3のように、図-2の培養器のロータックプレートに前述の温湿度データロガーを設置し、それを3.1の試験チャンバーに入れ温度

変動を与え温湿度の制御結果を実測した（図-1の結果もこの状態において得たものである）。

温度が20℃～30℃及び、15℃～35℃の正弦変動時、48時間にわたり測定した結果の一部を同表-1に示す。

図-2 相対湿度制御容器(培養器)

表-1 CaCl₂の水溶液濃度と相対湿度との関係

水100g中の CaCl ₂ の量(g)	相 対 湿 度 (%)				
	温度0℃	温度10℃	温度20℃	温度25℃	温度30℃
15	92.8	91.0	89.7 91.2(*)	89.8 89.7(*)	90.0 89.1(*)
20	87.7	87.2	87.5 87.2(*)	86.0 85.4(*)	85.6 84.8(*)
30	76.8	77.8	77.4 77.8(*)	76.2 76.3(*)	76.3 75.8(*)
40	66.7	67.4	66.3 67.5(*)	65.9 66.2(*)	66.1 65.6(*)
50	56.9	55.6	54.6 56.1(*)	55.3 55.0(*)	56.3 54.7(*)

注：(*)付きのデータは実測値で、他は文献¹⁷⁾から引用したものである。

図-3 温湿度制御用実験装置

温度変動時の連続的な相対湿度の実測結果の例として、温度が15℃～35℃の正弦変動時、相対湿度が90%一定の制御誤差（ここで制御誤差は“(測定値-設定値)/設定値×100”と定義する）は図-4に示すが、制御誤差は±4%以内であることがわかる。

なお第1日から第7日までの間において、漏洩などに起因すると思われる僅かな相対湿度の低下があった^{注7)}。

図-4 温度変動時相対湿度一定の制御誤差

4. 実験条件及び測定方法

4.1 温湿度培養条件

温度条件は一定温度（25℃）の場合および、周期的変動温度のモデル型として正弦曲線を用い、変動範囲を20℃～30℃及び、15℃～35℃とした。

相対湿度一定には、100%、90%、86%、76%、66%、55%の6段階を用いた。100%は通常寒天培地の表面あるいは雨天の状況を想定、55%は既往研究¹⁴⁾の一定温度条件で菌糸の伸長が認められない湿度として用いた。

これらの温度、相対湿度を組み合わせ、表-2に示したように本研究の温湿度設定培養条件とした。

表-2 設定温湿度培養条件

	相 対 湿 度 (%)					
温度条件	100%	90%	86%	76%	66%	55%
温度25℃	○	○	○	○	○	○
温度20℃～30℃	○	○	○	○	○	○
温度15℃～35℃	○	○	○	○	○	○

4.2 培地材料

培地材料の中に含む水分が培養容器中空気の水蒸気と短時間で平衡に達するように、培地は1/6標準濃度のポテト・デキストロース寒天培地（抗生物質クロラムフェニコールを0.03～0.05 g/1000mlの比例で添加）をロックアッププレート表面に薄く塗布し、一週間以上乾燥させたものを用いた。

4.3 対象菌種

使用菌種は建築環境に多く検出されている*Cladosporium sphaerospermum*（ここでは菌種C1と称する）、*Cladosporium cladosporioides*（ここでは菌種C2と称する）、*Aspergillus*

niger (ここでは菌種 A と称する), *Penicillium funiculosum* (ここでは菌種 P と称する) の 4 種類を選んだ。室内に存在している菌の栄養状況, 胞子の健全状態などの相違による影響を最小限にするため, いずれも (財) 発酵研究所 (日本微生物株保存連盟に加盟している) から購入し, 標準 PDA 培地に植え継ぎ同様の温湿度条件で培養し増殖後のものを実験に用いた。

4.4 コロニーサイズの計測方法

植え付け用培地のローダックプレートの上に直交する 2 軸を計測方向として定め, 計測は光学顕微鏡よりモニターテレビに映した直交する 2 軸でのコロニーの長さを測定し, さらにステージマイクロメーターによって校正した後の 2 軸の値の平均をコロニーサイズとした。

5. 実験結果

相対湿度 66%, 55% 条件については, 菌種 C1 をもって培養した結果, どの温度条件においても増殖しなかつ

たため, 後述の図-5 などには略す。この二つの湿度条件は他の菌種の実験には用いなかったが, 実験結果によって, 相対湿度 76% に関しても菌種 C1 のわずかの増殖のほかに, 別の三つの菌種は一週間の実験期間中にいずれも増殖は確認されなかった。

図-5 は同じ温度条件の場合, 相対湿度の違いにより菌種 C1 の増殖性状の結果を示す。

図-6 は温度変動の真菌の増殖への影響を示すが, 相対湿度 90% の結果だけを図に表わし, 他の条件の平均成長速度などは表-3, 4, 5 にまとめる。

図-7 は同じ属に属する菌種 C1 と C2 との同じ条件下の増殖性状の比較を示す。

表-3 には各温湿度培養条件下でのコロニーサイズの成長量測定値により求めた平均成長速度結果を示す。表中, 記号 "*" は培養期間中発芽していないものを表しているが, 相対湿度 76% 以下ではほとんど成長していないため略した。

表-3 温湿度条件別各菌種の平均成長速度 (mm/日)

菌種	相対湿度 86%			相対湿度 90%			相対湿度 100%		
	25℃	20~30℃	15~35℃	25℃	20~30℃	15~35℃	25℃	20~30℃	15~35℃
菌種 C1 (<i>Cladosporium sphaerospermum</i>)	0.19	0.15	0.06	0.94	0.41	0.21	2.47	1.87	1.32
菌種 C2 (<i>Cladosporium cladosporioides</i>)	0.74	0.28	0.11	1.10	0.93	0.34	2.05	0.94	0.51
菌種 A (<i>Aspergillus niger</i>)	0.29	0.45	0.10	1.15	0.36	0.33	1.47	1.56	0.91
菌種 P (<i>Penicillium funiculosum</i>)	*	*	*	0.15	0.06	0.04	0.67	0.40	0.40

注: 表中の "*" は実験期間中発芽していないものを意味する。

表-4 各菌種の温度変動時と温度一定時との成長量の比

菌種	相対湿度 86%			相対湿度 90%			相対湿度 100%		
	25℃	20~30℃	15~35℃	25℃	20~30℃	15~35℃	25℃	20~30℃	15~35℃
菌種 C1 (<i>Cladosporium sphaerospermum</i>)	1	0.79	0.32	1	0.44	0.22	1	0.76	0.53
菌種 C2 (<i>Cladosporium cladosporioides</i>)	1	0.38	0.15	1	0.84	0.31	1	0.46	0.25
菌種 A (<i>Aspergillus niger</i>)	1	1.55	0.34	1	0.31	0.29	1	1.06	0.62
菌種 P (<i>Penicillium funiculosum</i>)	*	*	*	1	0.43	0.24	1	0.60	0.60
単純平均	1	0.91	0.27	1	0.50	0.26	1	0.72	0.50

注: 1. 表中の "*" は実験期間中発芽していないものを意味する。
2. 相対湿度 86% の場合の単純平均は三種類の菌種に関するものである。

図-5(a) 温度が25℃一定の場合

図-6(a) 菌種C1の場合

図-5(b) 温度が20℃~30℃変動の場合

図-6(b) 菌種C2の場合

図-5(c) 温度が15℃~35℃変動の場合

図-6(c) 菌種Aの場合

図-5 相対湿度の違いによる菌種C1の増殖

図-7 C1とC2の同属異種の増殖性状の比較(φ=90%)

図-6(d) 菌種Pの場合

図-6 温度変動が各菌種の増殖への影響(φ=90%)

6. 考察

図-5の結果により、相対湿度の真菌の増殖性状への影響は大きいことが再び実証された。温度変動の有無及び変動の幅の大小に関係なく、相対湿度66%以下の場合、菌種C1についてはいずれも発芽しなく、他の菌種は相対湿度76%の条件でも増殖は確認できなかった。

6.1 温度変動の成長速度への影響

図-6から分かるように今回の実験温度範囲では同じ相対湿度条件の場合、温度変動のある場合の方が、真菌の成長速度に大きな影響を与える。

一週間にわたる菌の成長量は、温度変動時発芽した全22例の中、菌種Aの相対湿度86%、100%、温度20℃～30℃の2例のほかは、すべて温度一定の条件でのものが大きく、平均温度25℃を中心に温度変動の幅が大きいほど増殖が遅くなることが分かる。

表-4は温度25℃一定の場合の一週間の成長量を1としてほかの温度条件での成長量の比率を計算したものである。例えば、菌種C1については90%の相対湿度条件下、変動の幅が±5℃の20℃～30℃の場合および、変動の幅が±10℃の15℃～35℃の場合の成長量は温度25℃一定の場合のものに比してそれぞれ44%、22%程度までに低くなっている。

これは温度変動によって温度条件が不利な培養温度範囲に入るためであると考えられるが、菌種Aの温度20℃～30℃条件の場合の平均成長速度は、相対湿度86%と100%の二つの例とも温度25℃一定のものよりも大きく、逆に温度変動によって有利な培養温度範囲に入っていることがわかる^{注8)}。

6.2 温度変動による発芽所要時間への影響

表-5には各菌種の温湿度条件別発芽所要時間を示す。菌種AとPの発芽所要時間は相対湿度100%において温度変動に左右されないが、菌種C1については実験に用

いる三つの同じ相対湿度条件下において大幅な温度変動(15℃～35℃)によってその発芽を遅らせていることが分かる。このような傾向は菌種C2および菌種Pの相対湿度90%の場合でも示されている。

しかしながら、菌種C2に関しては、二つの相対湿度86%と100%の場合にも、20℃～30℃のような小範囲の温度変動によって発芽を早くさせた結果も出ている。

今までに真菌の成育メカニズムの研究でも、増殖汚染防止のための真菌成育に必要な最小相対湿度および発芽所要時間(あるいは実験期間中発芽しているか)などの研究でも、温度条件については、ほとんど一定の温度を設定して行なっているが、今回の菌種C2の結果から実際の変動的な環境温度条件においては菌種によって温度一定の場合より発芽の時期がもっと速くなる可能性があることが分かる。

6.3 培地材料の中に含む水分と周囲環境空気の湿度の影響

真菌の成長メカニズムの解明を目的とした既往研究の温度一定時、標準PDA寒天培地の条件での菌種C2に関する結果⁷⁾は1個の胞子より生えた菌糸の成長は1時間に0.1mm程度、コロニー直径の平均成長速度も1時間に0.1mm程度であると指摘し、今回の実験の十分乾燥しているPDA培地での温度一定時、相対湿度100%条件の結果2.05mm/日とほぼ一致している。

それは既往研究の実験では培養材料の標準PDA寒天培地の水分活性 a_w (water activity) が0.99～1.00(増殖基質)であるため、周囲環境空気の相対湿度が数十%しかない低いレベルにもかかわらず培地材料に存在している大量水分が培地表面まで流れ、培養表面の空気の相対湿度が100%近くなるためであると考えられる。

間接的な推論であるが、建材などの表面での真菌の増殖汚染はその周囲環境空気の温度、湿度条件の影響を受

表-5 各菌種の温湿度条件別発芽所要時間(日)

菌種	相対湿度86%			相対湿度90%			相対湿度100%		
	25℃	20～30℃	15～35℃	25℃	20～30℃	15～35℃	25℃	20～30℃	15～35℃
菌種C1 (<i>Cladosporium sphaerospermum</i>)	2	2	4	1	1	2	1	1	2
菌種C2 (<i>Cladosporium cladosporioides</i>)	7	3	7	1	3	3	3	1	3
菌種A (<i>Aspergillus niger</i>)	3	3	4	2	1	1	1	1	1
菌種P (<i>Penicillium funiculosum</i>)	*	*	*	3	3	7	1	1	1

注：表中の"*"は実験期間中発芽していないものを意味する。

けるほかに、材料内部に含む水分の量（水分活性）およびその水分の流れ状態とも関係していると思われる。

この推論は齊藤ら¹³⁾の一種類の真菌に関する「材料の湿気の多少が菌類の発育に影響しない」という研究結果と食い違っているが、微生物学分野では菌類の成長を左右する水分の影響は、周囲空気の相対湿度が低い場合には菌類増殖の基質となる物質の水分活性 a_w により決められるのが周知されていて、柳田¹⁸⁾によると一般菌類の増殖を支持する最低の水分活性は $a_w=0.80$ と指摘されている。これは実験条件（培地材料、菌種、周囲環境条件など）の相違による影響もあると解釈できるが、さらに多数の菌種により解明を行なう必要がある。

6.4 同属異種の菌の増殖性状

菌種C1とC2とは同じ属（*Cladosporium*）に属する違う種のものであるが、図-7から分かるように、その増殖性状は発芽所要の経過時間でも一週間にわたる成長量でも全く違うことが分かる。特に温度変動の場合その種による増殖性状の相違が大きくなり、図-7に示すように20℃～30℃温度変動の場合、二菌種の一週間の成長量は2倍ほどの差もあることが明らかになる。

したがって、今後の研究では実験用菌種については属だけではなく種まで同定する必要があるだろう。

6.5 発芽必要の最小相対湿度について

菌類の増殖に必要な最小相対湿度に関して、大槻ら¹²⁾の結果が多く用いられ、最近では菅原、小峯らは温湿度条件を一定にして建材などの表面での暴露実験を行なった結果、「湿度については、菌によっては66%でもかなりよく成長する」¹⁴⁾および「すべての基材とも、湿度にかかわらず80%未満の湿度ではカビが発生しなかった」¹⁶⁾とそれぞれ報告しているが、今回の実験に用いる4種類の菌種に関しては76%の相対湿度においては、菌種C1の温度25℃の場合だけ7日目に発芽したが、この菌種のはかの温度条件および別の3種類の菌種とも温度条件に関係なく実験期間中発芽しなかった。特に菌種Pは86%の相対湿度においても発芽していない。

これらの結果の食い違いは使用菌種および培地材料の不同による影響が大きいと考えられるが、今後の研究について比較できるような結果を得るために実験方法の統合が必要であろう。

7. まとめ

本研究は4種類の真菌を用い、温度が変動している場合と温度が一定の場合とのその増殖性状について実験を行なった結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 今回の実験温度の範囲では、すべての菌種について温度変動により真菌の成長速度に大きな影響を与える。ほとんどの菌種は温度変動によって増殖が遅らせていた。例えば、菌種C1に関しては同じ相対湿度90%一定の

場合、20℃～30℃及び15℃～35℃温度変動のものは、25℃温度一定のものに比して成長速度がそれぞれ1/2、1/4程度以下まで低くなっていることがわかった。

- 2) 菌種と温度の変動範囲によって温度の変動により真菌の増殖を促進する可能性もある。

これは菌種Aの温度20℃～30℃条件の場合の平均成長速度が、相対湿度86%と100%の二つのケースとも温度25℃一定のものよりも大きいことおよび、菌種C2の場合、20℃～30℃の温度変動の条件における発芽所要時間が温度25℃一定の場合よりも短かったことから示されている。

従って、今までの温湿度条件の真菌の増殖への影響に関する研究では、温度条件についていずれも温度一定条件を用いてきたが、今回のデータによってそれだけの結果では不十分あるいは危険性があることがわかる。

- 3) 菌種C2に関しては既往研究の温度一定、標準寒天培地（十分な水分が培地に含まれている）で、周囲環境空気相対湿度が低い場合の平均成長速度の結果は、今回の同じ温度条件、十分乾燥している培地で周囲環境空気相対湿度100%の場合の結果とほぼ一致している。

従って、建材などの培地表面に換気が少ない場合、培地材料の中に含まれる水分の量およびその流れ状態により真菌の増殖性状に影響があると推測される。

- 4) 菌種C1とC2との同属異種の菌の増殖性状は発芽所要の経過時間でも一週間にわたる成長量でも全く違い、特に温度変動の場合その種による増殖性状の相違が大きくなり、今後の研究では菌の属だけではなく種まで同定する必要があると思う。

前述のように実際の建築環境には温湿度条件として相対湿度一定に近い環境も、絶対湿度一定に近い環境も存在し、今後は絶対湿度一定条件の場合についても検討し更に実際に室内に出現している変動的温度測定結果を用い、各材料（建築材料、日常用品など）表面での増殖性状を調べることに努めたいと考えている。

謝辞

本研究に関しご指導並びにご支援を頂いた郡山女子大学教授菅原文子博士、信州大学教授入江建久博士、国立公衆衛生院建築衛生学部部长池田耕一博士、積水ハウス（株）総合住宅研究所課長紙中修二氏、当時東京理科大学研究生山本直史氏（NKK(株)）、塩崎智子さん（日本板ガラス(株)）及び東京理科大学大学院生出口奈名子さんに厚く謝意を表します。

注

- 1) 大槻¹²⁾は湿性のカビと乾性のカビの各一種類についてガラス上で発育可能な温湿度範囲を実験で求めた。齊藤ら¹³⁾は

実務の隠蔽の点より直接腐朽菌を用いることなくその性質が類似すると思われるコウジカビを用いて菌類は風によっても或いは材料の湿気の多少でも発育に影響されないとしている。菅原文子¹⁴⁾、¹⁵⁾は居住空間で採集した6種類の真菌を用い7種類の建材について一定の温度と湿度の組み合わせでその成長速度を求めた。小笠原¹⁶⁾は2菌種ずつの中温性菌と低温性菌を対象とし、ガラスなどの基材でカビが発生しやすい温湿度範囲を検討している。

- 2) 例えば、周知の外気の絶対湿度は日変動が小さくほぼ一定であり¹⁹⁾、²⁰⁾、外気温度変動によって合板を内装した住宅内の相対湿度には変化がほとんど見られなく、ビニールシートで内装した住宅内の絶対湿度がほぼ一定であり²⁰⁾、床下空間の絶対湿度がほとんど変わらない²¹⁾など²²⁾の報告がある。
- 3) アスマン通風温湿度計との比較実験では、温度の誤差が±0.6℃、相対湿度の誤差が±3%以内ということが分かる。
- 4) 図-1の実測結果は後述の図-3に示す装置で得たものでありシャーレの熱抵抗及び水溶液の熱容量の影響を吸収するため試験チャンパーの設定温度を調整し、図中の設定値が15℃～35℃の正弦変動であるが測定値は14.0℃～36.2℃の正弦変動を装置の設定温度として行なったものである。
- 5) この装置では温度変動幅が大きい(例えば25℃中心に2～3℃の変動幅以内)場合、相対湿度はほぼある一定の設定値(例えば60%±4.5%範囲)の制御が出来たが、温度変動幅が大きい場合その制御結果と設定値との差が大きくなり、時には設定値との差は相対湿度10%以上も出たことがある。
- 6) 塩類飽和水蒸気圧(換算により相対湿度結果が求められる)について、文献²³⁾が致種類の塩類の結果を報告しており、温度20℃時の飽和状態の測定結果に基づき結晶の作り易さなどから塩化カルシウムに対して利用し難いと提案されたが、本実験では非飽和状態の塩化カルシウム水溶液を用い、しかも文献で紹介されている塩化カルシウム水溶液濃度とその平衡状態の表面付近にある空気相の相対湿度との対応関係(表1)について筆者らが実測した結果は、本実験の温度範囲において温度変動によりその最大制御誤差は±4%以内にある(図-4はその一例である)ことが分かり、応用できると判断した。
- 7) シャーレのめれなどを防ぐためにはプラスチックテープで致重巻いて密閉を図ったが、長い期間においての水分伝達により以下の付図のように僅かながら相対湿度の低下があった。

付図 実験開始日と最終日の相対湿度の比較

- 8) 文献⁷⁾によりまとめた菌種Aの一定温度時の成長速度によれば、温度一定の25℃の条件より30℃の方が成長速度が大きい。

引用文献

- 1) 一瀬直美, 松田良夫: 住宅の生物汚染, 一生活方法とカビ・ダニの実態についての実測結果一, 空気清浄, Vol.23, No.4, pp.9～27, 1986.2
- 2) 市川栄一: "2.2 建築物防菌防霉", 防菌防霉ハンドブック(日本防菌防霉学会編), pp.68～94, 技報堂出版, 1986.5
- 3) 濱田信夫, 山田昭男: エアコンのカビ汚染, 防菌防霉,

Vol.21, No.7, pp.385～389, 1993.7

- 4) 紙中修二, 星川邦彦, 吉澤晋, 菅原文子: カビ被害全国調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学), pp.681～682, 1993.9
- 5) Solomon, W.R.: Advances in Environmental Sciences, Vol.1, ed.by J.N.Pitts & R.L.Metcalf, John Wiley & Sons N.Y., p.197, 1969
- 6) Trinci, A.P.J.: Influence of the Width of the Peripheral Growth Zone on the Radial Growth Rate of Fungal Colonies on Solid Media. J. Gen. Microbiol. 67, pp.325～344, 1971
- 7) 菅原文子, 吉澤晋: 建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究(第3報), -真菌のコロニー形成メカニズムと温度条件-, 日本建築学会計画系論文報告集, No.383, pp.1～7, 1988.1
- 8) Pirt, S.J.: A Kinetic Study of the Mode of Growth of Surface Colonies of Bacteria and Fungi, J. Gen. Microbiol. 47, pp.181～197, 1967
- 9) Cochrane, V.W.: Physiology of Fungi. John Wiley, New York & London, p.14, 1958
- 10) Wolf, F.A., F.T.Wolf: The Fungi, Vol.II, Wiley, New York, p.538, 1947
- 11) Deverall, B.J.: The Physical Environment for Fungal Growth, The Fungi, Vol. I, Academic Press, pp.543～550, 1965
- 12) Ohtsuki, T.: Uber das Verschimmeln der glasernen Gegenstände., Proc. Imp. Acad., Tokyo, Vol.19, No.10, pp.688～692, 1943.
- 13) 斉藤平蔵, 大槻虎男: 風及材料の湿気が微の発育に及ぼす影響について, 日本建築学会研究報告, No.15 (第2部), pp.191～194, 1951
- 14) 菅原文子: 建材上のカビの成長速度に与える温湿度の影響, 日本建築学会計画系論文報告集, No.441, pp.9～13, 1992.11
- 15) 菅原文子: 建材上のカビと結露によるカビ増殖, 防菌防霉, Vol.21, No.1, pp.49～54, 1993.1
- 16) 小笠原貴弘, 小笠原裕己, 長谷川永, 末永義明: 住宅における微生物汚染に関する研究, (その2) 低温性菌を対象とした実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学), pp.679～680, 1993.9
- 17) 飯塚廣, 小牧実秀: 応用菌学指針, p.225, 公文館, 1955.4
- 18) 柳田友道: 微生物科学, 2成長・増殖・増殖阻害, p.349, 学会出版センター, 1981.3
- 19) 斉藤平蔵: 建築気候, 共立出版, pp.100～103, 1974.5
- 20) 大釜敏正, 則元京: 第6章 壁装材と吸放湿, 「上村武, 小原二郎, 所莊吉編著: 壁装と調湿, 彰国社」より, pp.130～132及びpp.114～116, 1991.2
- 21) 宮田靖久, 松本衛: 住宅の小屋裏と床下空間の温湿度特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学), pp.803～804, 1991.9
- 22) 尾崎明仁, 須貝高, 渡辺俊行, 龍有, 井上竜一, 斉藤秀和, 山崎繁: 建築外壁の温湿度変動に関する基礎研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.451, pp.41～54, 1993.9
- 23) 斉藤平蔵, 林敏夫: 致種の塩類飽和水蒸気圧測定結果について(恒湿槽作製のための資料), 日本建築学会論文報告集, No.61, pp.66～72, 1959.2

(1993年12月10日原稿受理, 1994年7月1日採用決定)