004 温熱環境と健康

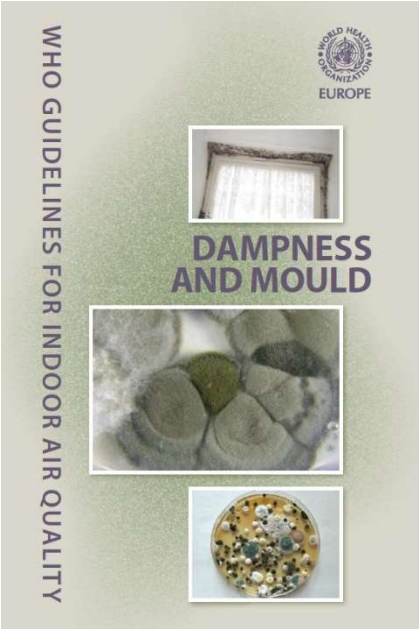
テーマ：DAMPNESS and MOLD

2019 年 11 月記載

野池政宏

はじめに

DAMPNESS とは「湿り気、湿っぽさ」というような意味である。MOLD は「カビ」。今回のレポートのタイトルを「DAMPNESS and MOLD」としたのは、WHO から次のようなレポートが出ていて、「空気質（INDOOR AIR QUALITY）と湿り気・カビ」というテーマが学術的に重要なテーマとして取り上げられ、こうした資料になっていることを受けてのものだ（この資料は和訳と併せて本サイトに置いており、ダウンロードできる）。



「002 温熱環境と健康（総論）」で整理したように、本サイトで追いかけていく重要な論点に深く関わり、そのベースになるものが「カビと健康」「室温と健康」である。本レポートはこのうちの「カビと健康」のシリーズになる。このテーマを追いかけていく中で、上の資料も見つけたわけだ。もちろん他の文献も調査したが（後述する）、現時点でもっとも参考になると感じたのが上の資料である。

論点の整理

改めて論点を整理しておこう。

＜話題としての論点＞

A)「夏の外気導入（風を入れること）」→「カビ」→「健康影響」という関係はどうなのか？

B)「窓の結露」→「カビ」→「健康影響」という関係はどうなのか？

＜「カビ」→「健康影響」というテーマとしての論点＞

1）カビによる健康影響はどこまでわかっているか？
2）カビの測定方法や曝露評価法はどこまでオーソライズされているか？
3）「問題のあるカビ」を実際的に判断する方法はあるか？

なお、＜話題としての論点＞において「窓以外（たとえば壁）の表面結露」「内部結露」は挙げていない。前者については、現在の新築レベルの断熱仕様であればまず発生しないし、後者についての主テーマは「断熱材の断熱性能の低下」「木材等の劣化」であることがその理由である。

また、＜「カビ」→「健康影響」というテーマとしての論点＞について補足しておく。

1）カビによる健康影響はどこまでわかっているか？

基本的に、こうした健康影響の研究は「実態調査（疫学研究）」「実験室内での研究」に分かれることを理解しておいていただきたい。また、カビは種類が非常に多いため、「どういったカビがどれくらい存在すれば（どういったカビをどれくらい曝露すれば）、どんな健康問題に、どれくらい影響するか？」という研究は非常に難しいことが予想できる。厄介なことに、カビから発生するような化学物質もあり、さらにこのあたりの研究は複雑になる。

2）カビの測定方法や曝露評価法はどこまでオーソライズされているか？

1）の研究において（とくに実態調査において）、「環境中のカビの数と種類」の測定が極めて重要になる。また併せて、そうした「カビ数と種類」を踏まえた人体への曝露評価も極めて重要になる。したがって、こうした論点を挙げたわけだ。

3）「問題のあるカビ」を実際的に判断する方法はあるか？

研究的には 2）が重要だが、我々にとって重要なのはこうした内容である。研究者からこうした情報がどこまで出ているかに注目したい。

カビによる健康影響

私の作業的には、まずはインターネットで、日本語で書かれた論文等を検索し、参考になりそうな文献をダウンロードして読んだ（本サイトからダウンロードできる）。

そうやって調べているうちに、「微生物による空気汚染に関する設計・維持管理規準」という資料が日本建築学会から 2013 年に発行されていることを知り、ほぼ同時に「はじめに」でご紹介した「WHO GUIDLINES INDOOR AIR QUALITY－DAMPNESS AND MOLD」という英文資料を入手した。結構な文字数であり、英文なので、ポイントとなりそうなところ（結論的なところ）だけを読むことにした。他にも「DAMPNESS」などで検索して、英文資料を探し（つまり世界中の情報検索になる）、参考になりそうな文献を斜め読みした。

「微生物による空気汚染に関する設計・維持管理規準」などの日本語資料や英文資料を読んでいく中で、やはり「WHO GUIDLINES INDOOR AIR QUALITY－DAMPNESS AND MOLD」がもっとも参考になるという結論を得た。なので知り合いに頼んで全文を和訳してもらった。本サイトにある「WHO GUIDLINES INDOOR AIR QUALITY－DAMPNESS AND MOLD（和訳）」という PDF ファイルがそれである。なお、和訳してもらった人はこの分野の専門家ではないので、専門家から見れば適当ではない訳になっているかもしれない。ただ、私も全文をチェックしたところ、相当に正確でわかりやすい日本語になっていると思う。この和訳の文責はすべて私にある。

まずは、＜話題としての論点＞で挙げた「夏の外気導入（風を入れること）」→「カビ」についての記述がある文献をご紹介しておこう。

図７に，この住宅で測定した温度と相対湿度を気

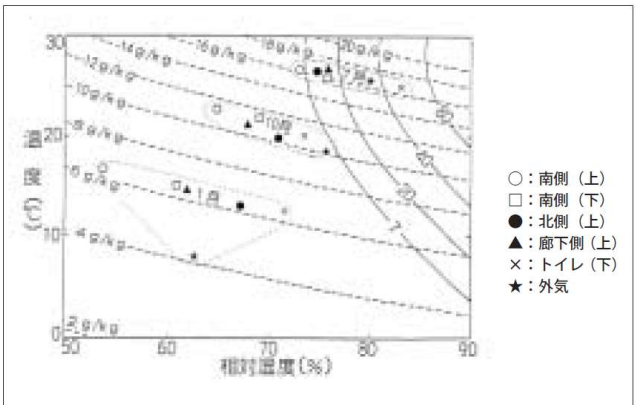


図7　集合住宅の室内気候

５．カビ防止対策

最初に述べたように，カビが発育するためには「発育可能な環境」が必要である。ここでは，環境から考えるカビ防止対策として除湿と断熱について述べる。

5-1　除湿

図７の7月の気候からもわかるように，日本の夏は高温多湿で外気の絶対湿度が高いため，換気しても湿った空気が入ってくるだけでカビ防止にはあまり役立たない。

表２に，夏期のカビ防止対策として除湿の効果を調査した例を示す。梅雨の時期に戸建て住宅の空室と物

これは「カビについて考える（著者：阿部恵子）」からの引用。著者である阿部恵子氏はカビ研究の分野で著名な人で、ずいぶん前だが私も何回かお会いしたことがある。この資料を見ていただければわかるように、この資料は「みんなで家庭科を（実教出版）」という中学校の家庭科用副教材のために書かれたものだ。ちなみに、私も少し前実教出版から依頼があり「パッシブデザインとは」というタイトルの、この副教材用の原稿を書いたことがある。本テーマとはまったく関係ないが、この資料もサイトに上げておいた。

本題に戻るが、赤線を引いたところに「夏の外気導入（風を入れること）」→「カビ」に関する記述がある。ここで阿部さんは「換気（外気導入）してもカビ防止にはあまり役に立たない」という表現をしており、「カビが繁殖するので注意」というような表現ではない（ましてや「カビだらけになる」という表現ではない←本レポート 003 参照）。このあたりの表現は微妙であり、補足しておこう。

「一般的に夏の外気は室内空気よりも高湿（絶対湿度が高い）」というのは間違いない。だから外気導入すれば室内の絶対湿度が高くなり（湿気量が増え）、それに伴って相対湿度も高くなる。一方、一般的に相対湿度が高くなるほどカビの発育（発生・繁殖）には有利であり、そういう意味で「夏の外気導入はカビの発育を進める方向になる」という理解は正しい。しかし「実際にどうなるのか？」というのは別の話である。このあたりは実態調査か「実際の住宅に近い条件の実験室で行われた研究」の結果を見るしかない。今回私が調べた限りでは、「外気導入とカビの発育」について一定の知見を得られるような実態調査などは見当たらなかった。

また、窓の結露とカビに関する文献もいくつか見つけた。このあたりは、今後本サイトに上げる予定である。

さて「WHO GUIDLINES INDOOR AIR QUALITY－DAMPNESS AND MOLD」である。第 5 章が、この資料における全体的な結論を書いているという位置づけなので、この章の全文（和訳）を以下に挙げる。

第５章　健康リスク評価とガイドライン

５．１　要約

各国の異なる気候条件のもとで実施された調査により十分な疫学的証拠が提供され、湿気やカビのある建物（住宅または公共の建物）内にいる人々は呼吸器症状や呼吸器感染症、喘息増悪のリスクが高いことが示された。いくつかの調査結果はアレルギー性鼻炎や喘息のリスクの増加も示唆した。多くは実施されなかったものの、介入試験の結果、ダンプネスの改善が健康被害の軽減に繋がることが示された。

カビおよびその他の生物学的因子に関わるダンプネスへの曝露が、過敏性肺炎やアレルギー性肺炎、慢性副鼻腔炎、そしてアレルギー性真菌性副鼻腔炎といった珍しい疾患のリスクを高めるという臨床的な証拠が示された。in vivo試験および in vitroから得られた毒性学的証拠は、これらの疫学的研究や臨床的研究の研究結果を支持する。両試験では、湿気の多い建物内で捕集された微生物（胞子や代謝産物、諸成分を含む）への曝露後の多様な炎症反応および毒性反応が示された。

アトピーやアレルギーのある人々の集団は、湿気のある屋内環境で見られる生物学的因子または化学的因子の影響を特に受けやすいが、健康への有害な影響はアトピーではない人々にも確認された。

多くの国での喘息やアレルギーの罹患率の増加は、建物内のダンプネスとカビに対して感受性の高い人々の増加を招く。

５．１　健康リスクの要因となる条件

屋内のダンプネスの蔓延は、国、大陸、気候帯間において、またそれぞれの国、大陸、気候帯内において状況が大きく異なる。ヨーロッパや北アメリカ、オーストラリア、インドそして日本では屋内環境の１０％から５０％に影響を与えると推定される。河川の流域や沿岸部といったある特定の環境においては、ダンプネスの状況は同国内の平均と比べて圧倒的に深刻である。

真菌類や放射菌類、その他の細菌を含む微生物の増殖のもっとも重要な誘因は、建築材料の表面もしくは内部の水分の量である。

微生物は偏在しており、水のあるところならどこでも急速に繁殖する。通常、大抵の屋内空間にちりやほこりが存在しており、それらが微生物に十分な栄養を与え、微生物の大規模な増殖を助ける。カビはすべての建築材料の表面ないし内部で増殖できるが、一方で、適切な建築材料を選択することでちりやほこりの蓄積、水分の侵入、そしてカビの増殖を防ぐことができると言える。

微生物の増殖は、屋内空気中に多くの胞子、細胞片、アレルゲン、マイコトキシン、エンドトキシン、β-グルカン、そして揮発性有機化合物をもたらす可能性がある。健康に有害な影響を与える原因因子の決定的な特定には至らなかったが、屋内環境においてこれらの物質が過剰なレベルで存在することは、健康被害の潜在的な危険因子になると言える。

微生物の相互作用、および湿気に関連した建築材料からの物理的または化学的物質の放出も、ダンプネス関連の健康影響の一因となる可能性がある。健康と快適性に関わる建築基準および建築法規は、過剰な湿気とダンプネスの予防および管理に対する要件に十分に重点を置いていない。

ときおり起こる水漏れや大雨洪水などを除いて、多くの場合、水の侵入は外から入ってくる空気によって生じる。これには、建物の使用者の活動の結果生じるものや建築エンベロープを浸透して入ってくるものが含まれる。表面温度が周囲の空気の温度より下がることによって結露が生じる可能性がある。熱橋（金属の窓枠など）、不適切な断熱、非計画的な換気経路、そして空調設備の冷えた配管やパーツが、露点を下回る表面温度の発生およびダンプネスを招く場合がある。

５．３　ガイドライン

建物内の物質の表面部分や建物の構造部で起こる微生物の増殖と持続的なダンプネスは、健康に有害な影響を招く恐れがあり、阻止すべきまたは最小限に抑えるべきである。

ダンプネスおよび微生物の増殖の指標は、建物内の物質の表面部分および建物の構造部における結露の有無、目視できるカビ、知覚されるカビ臭、水によるダメージ、水漏れや水の侵入の経過などである。徹底的な点検、あるいは適切な測定によって、屋内の湿気と微生物の増殖の確認ができる。

ダンプネスおよび微生物因子への曝露と健康影響の関係は正確に定量化することができないため、微生物汚染の許容レベルを示す定量的な指針値や基準値は提言できない。代わりに、ダンプネスおよびカビに関わる問題の阻止が勧められる。ダンプネスやカビは、微生物や化学物質への危険な曝露のリスクを高めるため、発生した場合には改善されるべきである。

デザイン性が高く、優れた建築構造で、よく維持された建築エンベロープは熱橋および水や水蒸気の侵入を防ぐため、過剰な湿気や微生物の増殖の防止および管理にとって極めて重要である。湿気の管理には、過剰な湿度、表面の結露、建築材料の過剰な湿気を防ぐための適切な温度調節と換気調節が必要とされる。換気は空間全体に有効に行き渡るべきであり、空気の滞留は避けなければならない。

建物の所有者は、適切な建築構造およびその維持を保証することによって、過剰な湿気やカビの発生しない健康的な仕事場または居住環境を提供する責任がある。建物の使用者は、ダンプネスやカビの増殖を招くことのないよう、水道、暖房、換気、および諸設備を適切に使用する責任がある。

ダンプネスを介する微生物の増殖の管理および望ましい室内空気質の保証のために、気候の異なる地域に対してそれぞれに合った提言の改定が成されるべきである。

ダンプネスとカビは、特に管理の行き届いていない低所得者の住宅において蔓延している可能性がある。疾病負担の増加を抱えて生きる人々に更なる健康の悪化要因を与えることのないよう、有害な曝露へ繋がる状況の改善は優先されるべき事項である。

（※「5．1　健康リスクの要因となる条件」は「5．2　健康リスクの要因となる条件」の誤記）

この資料は 2007 年に開催された WHO 作業部会において準備された資料及び議論された内容に基づいている。この作業部会では、それまでに蓄積された知見に基づきながら、世界中の関連する研究論文を集めて査読（レビュー）している。これほどの規模（質と量）でレビューしているような取り組みはおそらく他にはなく、現時点でもっとも信頼性が高く、しかも実際的に我々が判断に使える資料だろう。なお、「カビにおける健康影響」の項でも挙げた「微生物による空気汚染に関する設計・維持管理規準」も、この資料を大きく参照していると判断できる。

ここで、＜「カビ」→「健康影響」というテーマとしての論点＞で挙げた論点に関わる部分を見てみる。

戻って、5 ページの赤線を引いた箇所を見てほしい。この下線部は、この作業部会による「カビの測定方法や曝露評価はオーソライズされていない（オーソライズできない）」という判断によって表現されたものだ（これだけが判断材料ではないが、重要な背景になっている）。そのあたりの記述がある箇所を以下に挙げておこう。

「２．４．２　微生物および微生物因子の測定」における記述

ダンプネスと健康に関する多くの研究において、目視できる真菌類と水によるダメージに焦点が置かれた。また、これらの研究の多くで、曝露についての評価はアンケート調査を基に行われた。しかしながら、真菌の増殖に関するアンケート調査が、関連する真菌の成分への実際の曝露とどれだけ相関しているかは定かではない。真菌濃度の客観的な測定を行なった研究では、胞子は一般的に屋内の空気中や堆積したほこりから培養された（Garrett et al.，１９９８；Jacob et al.，２００２）。下記のセクションでは屋内空気中の微生物濃度（特に真菌類）の測定に利用可能な方法が提示されている。

このように、「（カビも含めた）ダンプネスと健康に関する研究」では、その要因（カビも含む）を定量的に測定しているわけではなく、目視できる真菌類（カビ）に焦点が置かれていると明確に記述されている。したがって、次の「真菌の増殖に関するアンケート」における「増殖」は主に目視によるものであることがわかるが、それが実際の曝露とどれだけ相関しているかは定かではないとある。

「２．４．５　屋内の暴露測定における問題点」における記述

屋内環境での微生物への曝露は、堆積したほこりの中あるいは気中に存在する培養可能な胞子を計数することによって評価するのが最も一般的である。しかし、このアプローチには重大な欠点がある（セクション２.４.２参照のこと）。文献では滅多に認られていないが、恐らく最も重要な問題は、気中濃度の時間的変化が非常に大きいのにもかかわらず、１５分を超える気中サンプリングがほどんど不可能だということであろう。堆積したほこりの中あるいは気中の真菌について繰り返し測定が行われたいくつかの研究では、短時間でも濃度の測定結果に考慮すべき時間的変化が生じることを示された（Hunter et al.，１９８８；Verhoeff et al.，１９９４b）。単離した真菌属の濃度においてはさらに大きな時間的変化があった（Verhoeff et al.，１９９４b；Chew et al.，２００１）。

ここでも「カビなどの微生物を測定（計測）すること」の困難さに対する記述がある。

こうしたことを頭に置いてもらい、本文冒頭の「要旨」にある重要な記述を次に挙げる。この「要旨」のすべてをここではご紹介しないが、この資料を読むときには、まずはここをじっくり読んでほしい。

- 各国の異なる気候条件のもとで実施された調査により十分な疫学的証拠が提供され、湿気やカビのある建物（住宅または公共の建物）内にいる人々は呼吸器症状や呼吸器感染症、喘息増悪のリスクが高いことが示された。いくつかの調査結果はアレルギー性鼻炎や喘息のリスクの増加も示唆した。多くは実施されなかったものの、介入試験の結果、ダンプネスの改善が健康被害の軽減に繋がることが示された。

- カビおよびその他の生物学的因子に関わるダンプネスへの曝露が、過敏性肺炎やアレルギー性肺炎、慢性副鼻腔炎、そしてアレルギー性真菌性副鼻腔炎といった珍しい疾患のリスクを高めるという臨床的な証拠が示された。

このように、まずは実態調査（疫学研究）によって、十分に科学的に「湿気やカビのある建物内にいる人は、いくつかの疾患リスクがあることは明らか」ということである。また臨床的に、「カビ等の曝露がいくつかの疾患のリスクがある」という証拠も得られたということになる。

以上をまとめておこう。以下が、おそらく現時点で「もっとも信頼性がある、カビの健康リスクとその対処法に対する記述」であろう。

1）環境中のカビの測定方法はオーソライズされていないし、

2）カビの曝露評価もオーソライズされていないが、

3）疫学研究によって、住環境中のカビは、呼吸器症状、呼吸器感染症、喘息憎悪のリスクを高めることが明らかであり、

4）また一方で、臨床的な研究によって、カビは過敏性肺炎、アレルギー性肺炎、慢性副鼻腔炎、アレルギー性真菌副鼻腔炎のリスクを高めることが明らかである。

5）したがって、具体的で定量的な安全指標は提示できないが、

6）「結露の有無」、「目視できるカビ」等を、その増殖の指標とし、

7）こうした指標に従って、問題がある場合には、それを改善することが求められる

これがもっとも信頼できる内容（記述）なのだが、実際の建築や設備、暮らし方をどうすべきかということになると「どこまで結露していて」「どこまで目視でカビが増殖していたら」改善すべき（もしくは事前に対処しておくべき）なのかが明確ではなく判断しにくい。

そこで、私が考える、現実的で、もっとも安全側に近いと思われる判断をご紹介すると**「目視でカビが確認できれば、それは改善すべき（目視で確認できるようなカビが発生しないようにしておく）」**となる。

相当に時間がかかったが（翻訳代としてそこそこお金も使った）、こうした「現時点での最良な結論」が出たのはうれしい。本レポート 003 に書いた、ある人からの「夏に高湿な外気を入れるとカビだらけになる」という発言は、そういう意味で「目視で確認できるほどカビだらけ」という状況を指すべきだし、それは実際の住宅とは食い違っていると考えてよく、適切さを欠いていると言ってよいだろう。

また、もう一方の「窓の結露」についても「目視できるようなカビの発生があれば改善する」「現実的な条件に基づき、目視できるようなカビの発生リスクが最小限となる窓選びをする」という判断が妥当ということになる。

ただし、この結論の大きな参考にした「WHO GUIDLINES INDOOR AIR QUALITY－DAMPNESS AND MOLD」は 2007 年あたりまでの研究をレビューしたものであり、そこからもう 10 年以上経過している。その後の研究でこの資料で記述されている内容が変化・進化しているかもしれない（ただし、大幅な変化や進化はないだろう）。なお、いま（2019 年 11 月）WHO のサイトを見に行ったが、それ以降のガイドラインは出ていないことが確認できている。

※参考文献については、今回のテーマへの関連の幅をかなり広く取ってサイトに上げてある。