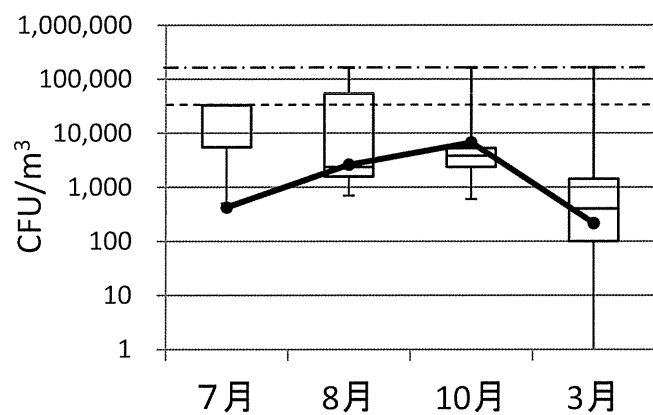
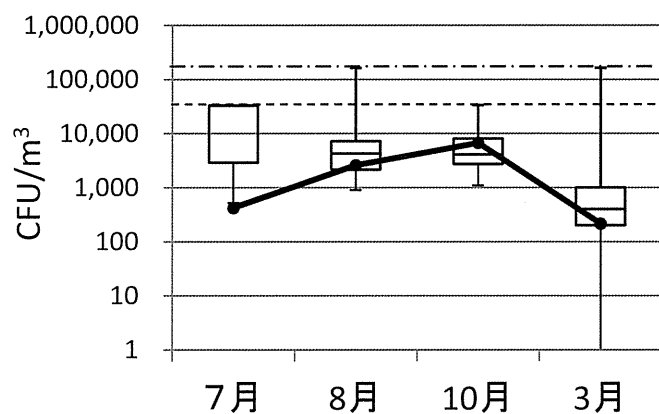


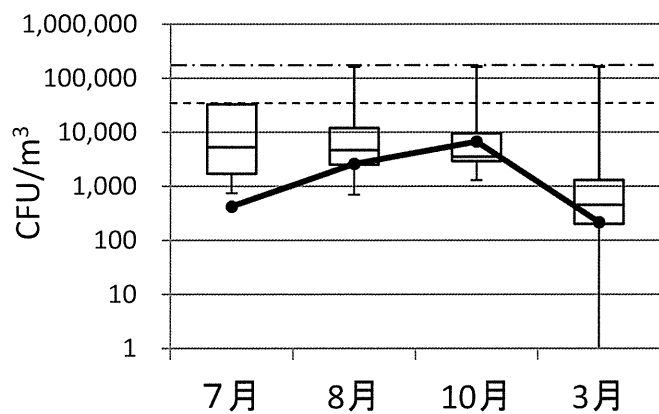
A. 寝室



B. 台所



C. 居室



7月の検出
上限値

8, 10, 3月の
検出上限値

図13. 部屋ごとにみた各月の真菌数の比較（好湿性菌）

箱ひげ図は、最大値-第3四分位点-中央値-第1四分位点-最小値を表した。折れ線グラフは各団地における外気の実菌数平均値を表した。データは全ての団地を含む。

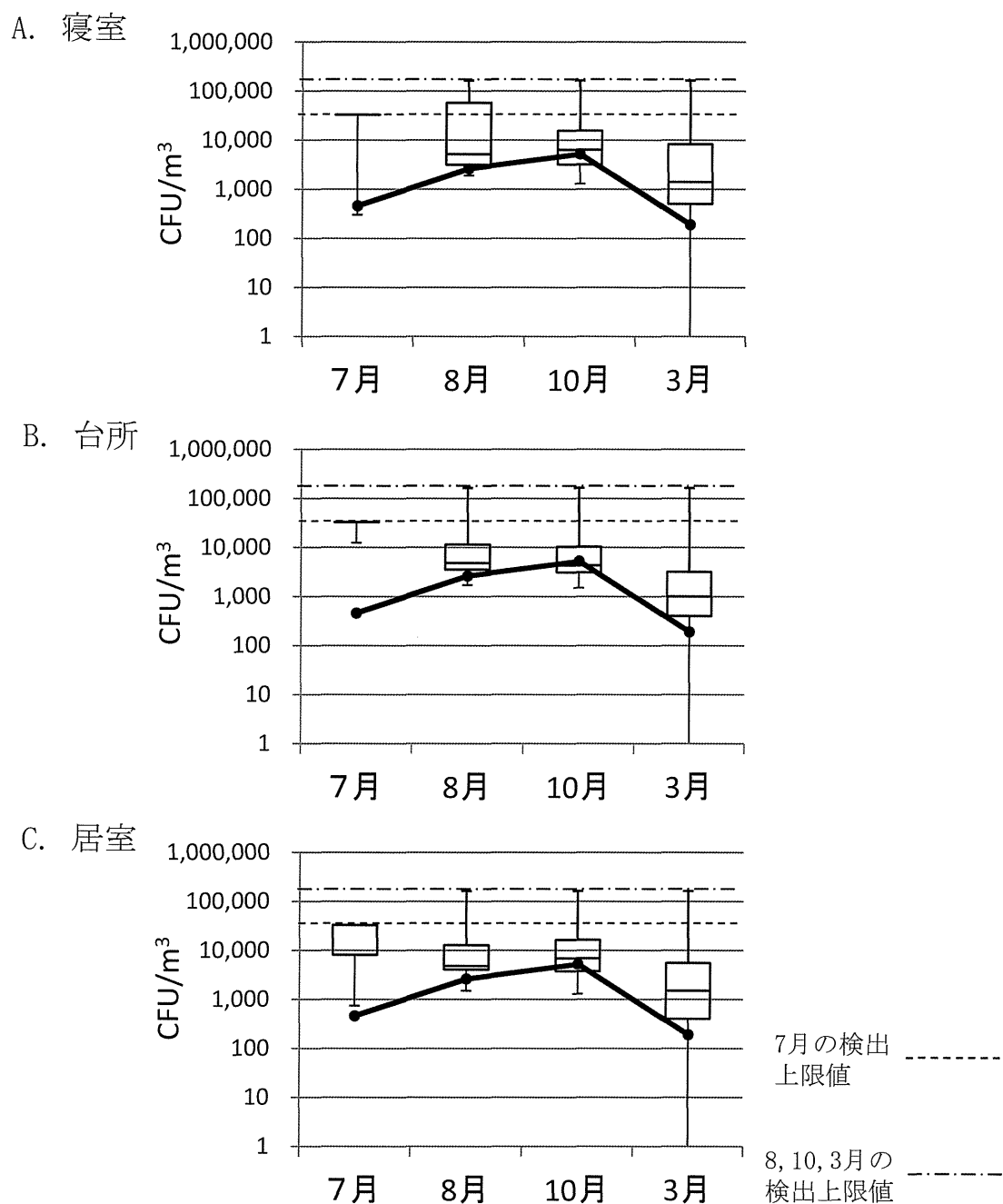


図14. 部屋ごとにみた各月の真菌数の比較（好乾性菌）

箱ひげ図は、最大値-第3四分位点-中央値-第1四分位点-最小値を表した。折れ線グラフは各団地における外気の実菌数平均値を表した。データは全ての団地を含む。

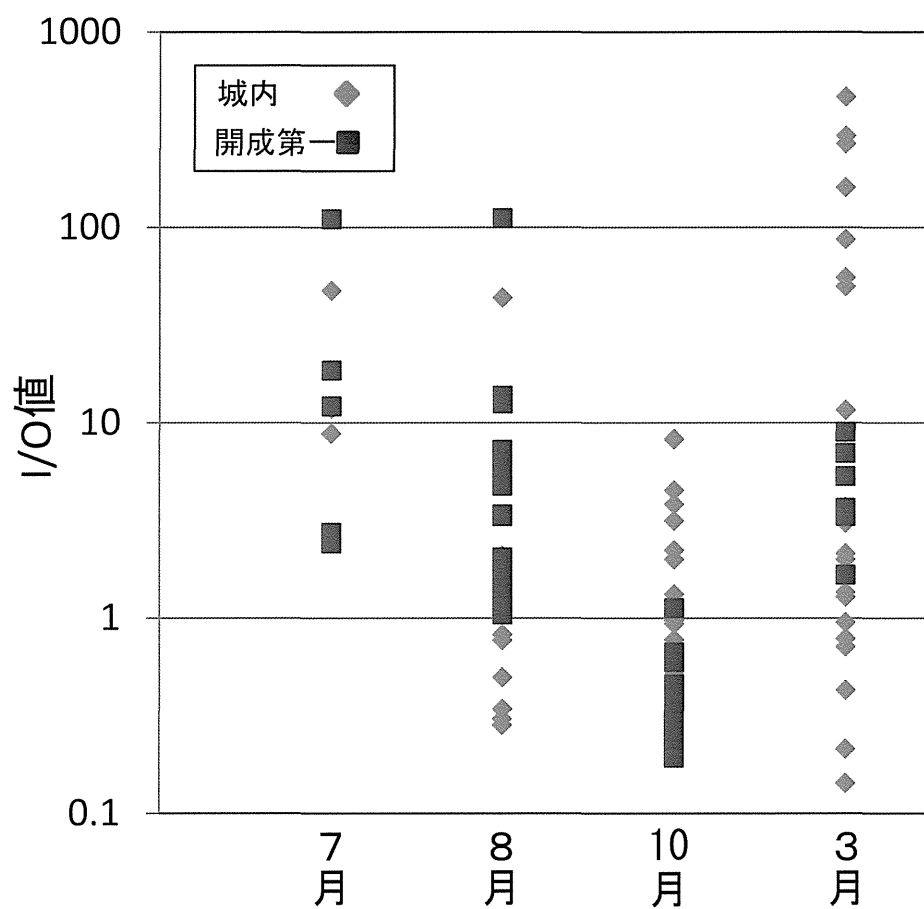


図15. 各月のI/O値の比較（好湿性菌）

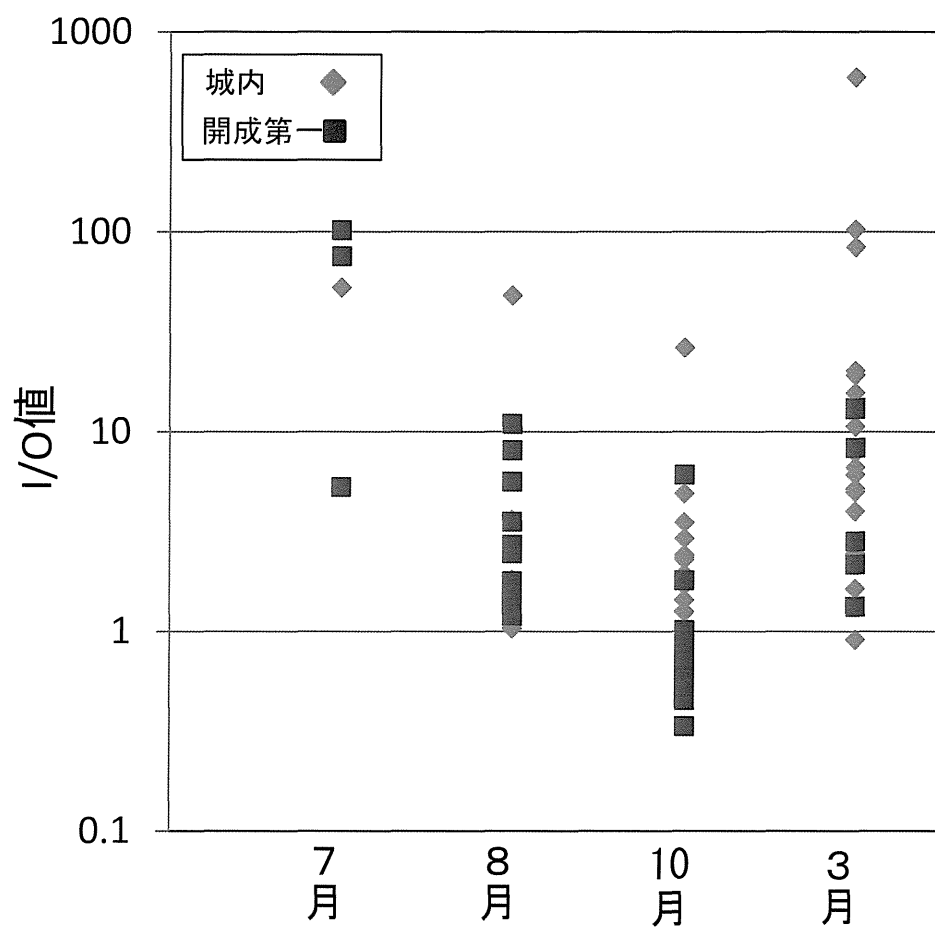


図16. 各月のI/O値の比較（好乾性菌）

Ⅱ． 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル	発表誌名	巻号	ページ	出版年
渡辺麻衣子	室内環境のカビ毒汚染	かびと生活	6巻1号	24-29	2013

特 集

室内環境のカビ毒汚染

国立医薬品食品衛生研究所衛生微生物部第三室 室長

渡辺麻衣子

1. 住・労働環境のカビ

近年の住宅や労働施設は、気密性の高い建築様式を持ち、室内の温湿度管理が飛躍的に進んでいるという特徴を持ちます。このような環境はカビの増殖にも最適で、室内のカビ汚染は著しく増加しています。室内空気環境から検出されるカビの種類は、地域や季節などによって左右され、温度・湿度に依存して様々な様相を示すことが知られています。

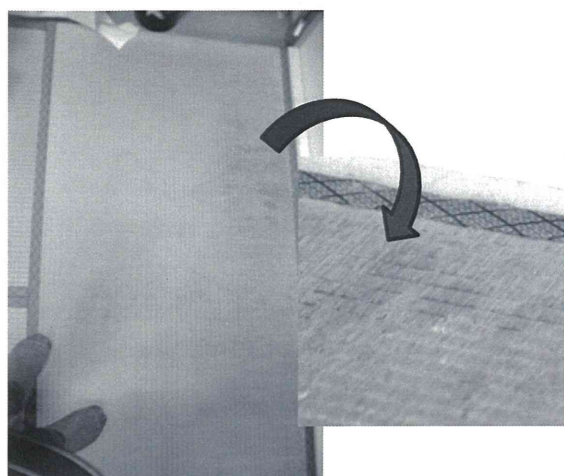
室内環境のカビ汚染がもたらすヒトへの健康危害としては、大きく分けて、感染症、アレルギー、二次代謝産物中毒の三つが挙げられます。これらのうち、感染症やアレルギーについては、患者数が多く、健康被害と原因の因果関係が比較的容易に認識できるために早い時期から注目され、研究が進んできました。二次代謝産物産物中毒については、近年、急激に新たな発見が増えてきました。微量分析技術の発達によって室内空気やハウスダスト中の化学物質の分析が盛んに行われるようになり、健康被害が起こった住環境や労働環境の空気やハウスダストから、カビの産生する二次代謝産物である微生物揮発性有機化合物（MVOC）やカビ毒検出の報告¹⁾が急増しています。カビの孢子や菌糸といった菌体だけでなく、これらを吸引摂取することによるリスクについても知っておく必要があります。

す。

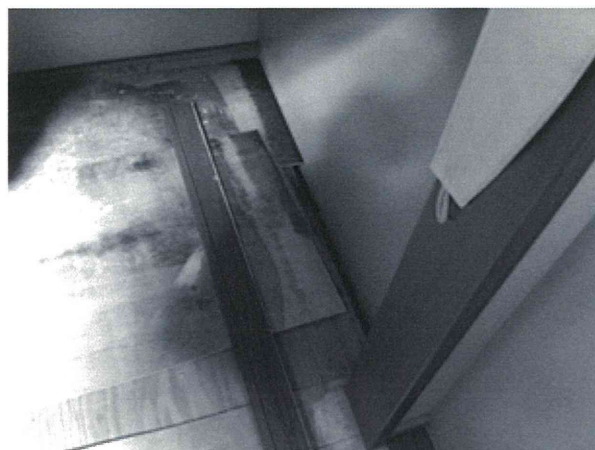
現在、最も注目されている室内環境のカビ汚染問題のひとつとして、東日本大震災被災地での仮設住宅の深刻なカビ汚染が挙げられます。仮設住宅は本来長期間の居住を想定しておらず、短期間にローコストで住宅を供給することが大きな目的であることから、一般住宅と比較して、断熱や換気性能は低く、また、使用している建材の特徴から、結露が非常に生じやすい建築構造になっています。さらに、居住者ひとりあたりの床面積が少なく、収納が少ない上に物が多いという状況に陥りやすく、カビ発生が起りやすい環境にあります。著者の昨年度の調査からも、天井、畳上、畳下、布団下、押し入れ内、家具周辺等でのカビ発生（図1）が多数確認され、室内空気のカビ数が非被災地の一般住宅の約150倍以上もの値となった世帯がありました。同様の状況が各地の仮設住宅室内で報告されています。このような場合、室内環境を汚染するカビが及ぼす住人の方々への健康被害が懸念されますが、感染症やアレルギーだけでなく、カビ毒やMVOCによる健康被害も想定する必要があります。

2. ヒトの健康被害に関わるカビ毒

本稿では、室内環境を汚染することの多いカ



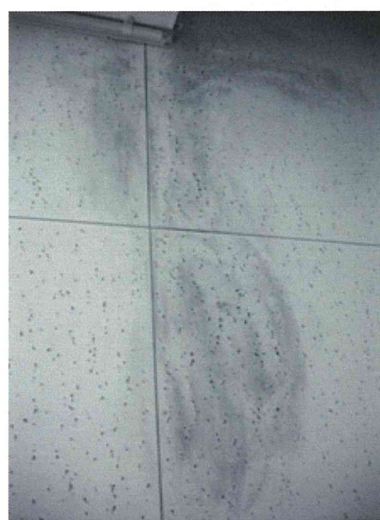
畳表面のカビ汚染



畳下のカビ汚染



敷布団のカビ汚染



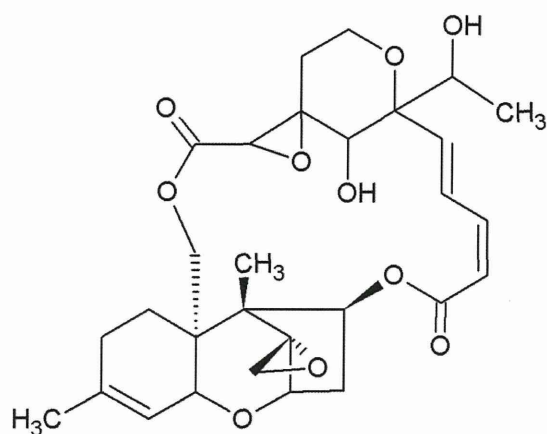
天井のカビ汚染

図 1. 仮設住宅のカビ汚染状況

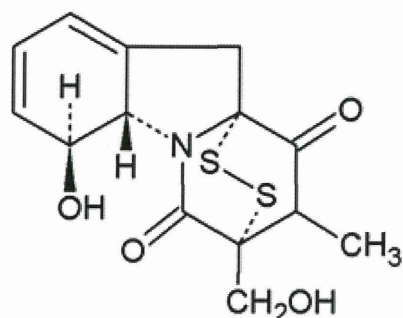
び産生二次代謝産物のうち、毒性が強いカビ毒について注目します。室内環境におけるカビ毒のヒト体内への吸収経路としては、目などの粘膜や皮膚からの浸潤、および呼吸器からの吸入の二つの経路が挙げられます。カビ毒による中毒症といえば食中毒が有名です。カビに汚染された食料中に蓄積されたカビ毒の摂食による大規模な食中毒事件が世界的に数多く発生し²⁾、早くから解明が進んでいます。これに対して、カビ毒の粘膜や皮膚からの浸潤や呼吸器からの

吸入がおよぼすヒトへの危害性については、関連研究が少なく、未知の点が多く残されています。しかしながら、室内環境をカビ毒が汚染すると、浸潤や吸入によってヒトが暴露される機会が多いことから、これらの吸収経路は健康に与える影響が大きいと考えられ、これらの経路でカビ毒を摂取した場合の危害の程度を明らかにすることは、重要な課題であると言えます。

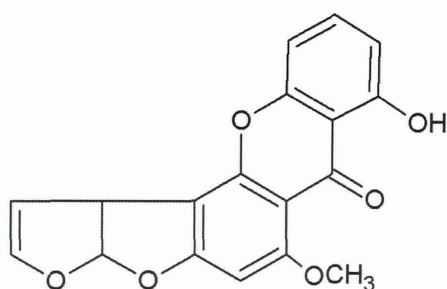
3. 室内環境を汚染するカビ毒



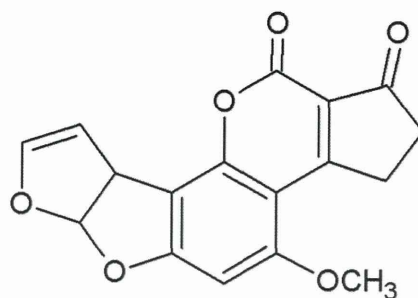
サトラトキシン G



グリオトキシン



ステリグマトシスチン



アフラトキシン B₁

図 2. カビ毒の化学構造式

本稿では、室内環境を汚染するカビ毒およびその産生カビについて述べ、それらがどのようなヒトへの健康危害を引き起こす可能性があるのかについて解説しつつ、環境分野におけるカビ毒の重要性について考えていきたいと思います。

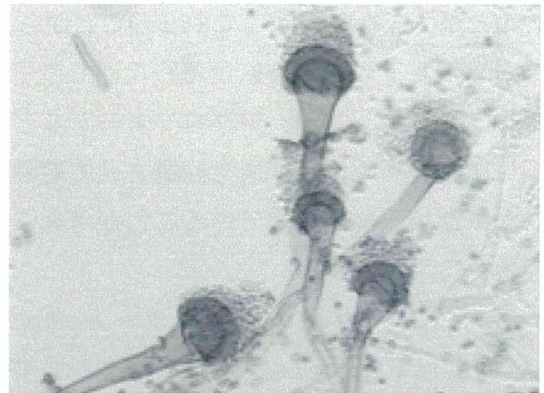
3-1. スタキボトリス・チャタラム *Stachybotrys chartarum* (以下 *S. chartarum*) が産生するサトラトキシン

サトラトキシンが関係する可能性があるヒトの健康危害が過去にアメリカで発生したことから、室内空気環境を汚染するカビ毒の中で研究報告が最も多いカビ毒です(図3)。*S. chartarum*(図2)は土壌や空気中から通常検出されるカビ

ですが、洪水や漏水などの水害を受けた高湿度の環境下では壁紙や建材に付着して旺盛に発育することが知られ、国内をはじめ世界各地で、水漏れ事故や水害時の浸水を受けた室内での異常発育が報告されています。1993 から 1994 年に発生したアメリカの洪水では、被災した建物の室内の多くで *S. chartarum* が大量に検出され、そこに居住する乳幼児の間で重篤な呼吸不全・肺出血を伴う肺症状が複数件発生し、死亡例も報告されました。この患者宅から分離された *S. chartarum* がサトラトキシンを産生すること、室内からは最大で 1,400 pg/m³ ものサトラトキシンが検出されたことから、*S. chartarum* が産生するサトラトキシンと肺症状との間の因果



スタキボトリス・チャタラム



アスペルギルス・フミガタス



アスペルギルス・バージカラー



アスペルギルス・フラブス

図 3. カビ毒産生菌の顕微鏡像

関係が考えられています。サトラトキシン産生 *S. chartarum* 株の胞子をマウスに反復吸入させると、肺出血が引き起こされたという研究報告³⁾もあります。

さらに、最近の研究により、サトラトキシンをはじめとするカビ毒は、ヒト嗅覚細胞や神経系細胞にアポトーシスを過剰に引き起こすことが明らかとなり⁴⁾、嗅覚障害、嘔吐、頭痛、倦怠感などの症状を引き起こしてシックハウス症候群の原因となっているという説が有力視されています。

3-2. アスペルギルス・フミガタス *Aspergillus fumigatus* (以下 *A. fumigatus*) が産生するグリオトキシン

A. fumigatus (図 2) は、胞子を吸入することによって肺に感染し、アスペルギルス症の原因菌となることで、非常によく知られた医真菌です。このカビが産生するグリオトキシン (図 3) をマウスに投与すると、免疫担当細胞による病原体食作用の抑制が見られ、ヒトでは、気道障害などの毒性を持つことから、微生物への易感染性に関与するカビ毒であることが明らかにされました。遺伝子操作によって作製した、グリオトキシン産生抑制 *A. fumigatus* をマウスに感染させる実験では、肺胞中のグリオトキシン濃度レベルの低下と *A. fumigatus* 病原性の低下との関連性が報告され、肺胞内のグリオトキシンがアスペルギルス症での感染成立に果たす役割が大

きいことが示されました⁵⁾。これらのことから、*A. fumigatus* がヒトの気道内に定着したのち産生されたグリオトキシンが、マクロファージなど免疫担当細胞の病原体食作用を回避させて定着を速やかに進める役割をしていることが考えられています²⁾。

3-3. アスペルギルス・バージカラー *Aspergillus versicolor* (以下 *A. versicolor*) が産生するステリグマトシスチン

A. versicolor (図2) は、湿気による被害を受けているビルの室内から高頻度で検出されるカビで、しばしば室内空気が孢子に高濃度で汚染されることがあります。このカビが産生するステリグマトシスチン(図3) は、肝臓で酸化を受けると活性化され、発癌性物質に変化することが知られています。また、マウスにある一定濃度以上の *A. versicolor* 孢子を吸引させると、肺での炎症反応を促進し肉芽腫を形成します。マウスにステリグマトシスチンを吸入させると、肺や気管支の細胞で、炎症反応を促進させる免疫系活性物質の産生が確認された⁶⁾ ことから、肺での肉芽腫形成とステリグマトシスチンの存在との関連性が疑われています。また、*A. versicolor* の産生するカビ毒が気管に対して強い纖毛運動抑制作用を持つこと⁷⁾ が報告されており、ステリグマトシスチンが吸入によって気管支細胞に作用すれば、ヒト疾患に関連する可能性があると言えます。

3-4. アスペルギルス・フラブス *Aspergillus flavus* (以下 *A. flavus*) の産生するアフラトキシン

アフラトキシン(図3) は、自然毒において最強の発ガン性物質のひとつとして非常によく知られています。代表的な産生菌として知られる *A. flavus* (図2) は、日本をはじめ世界中の土壌から普遍的に検出されるカビです。アフラトキシンは、主に亜熱帯および熱帯地域からの輸

入作物、特に穀類や豆類を中心に、幅広い農作物から検出されています。アフラトキシンが原因の大規模な食中毒事例は世界中で複数回発生し、死亡者も多数出ています²⁾。経口摂取による健康危害について最も注意しなくてはならないカビ毒です。

このように、経口摂取による毒性が非常に強いために、吸入摂取した場合の危害性についても注目され、研究が進行しています。例えば、穀類や豆類の加工工場の室内では、原料で大量に発育したアフラトキシン産生菌とこれが産生したアフラトキシンが含まれる多量の粉塵が飛散しているため、そこで働く労働者のアフラトキシンの吸引によるリスクが高いことが報告されており⁸⁾、このような室内環境では注意が必要です。また、ヒト気管支の細胞へアフラトキシンを作用させると、アフラトキシンは代謝によって発ガン性物質となるため、アフラトキシンの吸入によって肺ガンのリスクが高まるとする研究報告もあります²¹⁾。

おわりに

カビは、環境中に普遍的に生息しており簡単に対象物に付着し、条件さえ満たされれば旺盛に発育を開始します。室内を汚染することの多い *A. fumigatus* や *A. versicolor* といったカビを建材に接種して培養した場合にカビ毒の生成が確認されることから、室内空気環境のカビ毒汚染に目を向け、汚染原因となるカビの発生源に対して対策を講じることが必要です。また、環境中からカビ毒の暴露を受けた患者の尿や唾液など体液および血清、組織等からそれらカビ毒が検出されたという報告もあることから⁹⁾、空気環境から摂取したカビ毒は体内に入り、健康被害を引き起こすことが容易に想像されます。今後、食品からの経口摂取と同様に、空気環境か

らのカビ毒の摂取についてモニタリングし、ヒト疾患との関連性を明確にしていく必要があると言えます。

参考文献

- 1) Y. Wang, T. Chai, *et al.* (2008) Simultaneous detection of airborne aflatoxin, ochratoxin and zearalenone in a poultry house by immunoaffinity clean-up and high-performance liquid chromatography. *Environ. Res.*, 107, 139-144.
- 2) 小西良子 (2009) 医食住にかかわるカビ毒、モダンメディア、55、18-29.
- 3) 高鳥美奈子、信太 隆夫ら (1994) 最近 10 年間の相模原地区における空中飛散真菌、アレルギー、43、1-8.
- 4) E. Karunasena, M. D. Larranaga, *et al.* (2010) Building-associated neurological damage modeled in human cells: a mechanism of neurotoxic effects by exposure to mycotoxins in the indoor environment. *Mycopathologia*, 170, 377-390.
- 5) J. W. Bok, S. A. Balajee, *et al.* (2005) LaeA, a regulator of morphogenetic fungal virulence factors. *Eukaryot. Cell*, 4, 1574-1582.
- 6) J. D. Miller, M. Sun, *et al.* (2010) Inflammation-associated gene transcription and expression in mouse lungs induced by low molecular weight compounds from fungi from the built environment. *Chem. Biol. Interact.*, 183, 113-124.
- 7) E. Pieckova and Z. Jesenska (1998) Molds on house walls and the effect of their chloroform-extractable metabolites on the respiratory cilia movement of one-day-old chicks *in vitro*. *Folia Microbiol.*, 43, 672-678.
- 8) A. Traverso, V. Bassoli, *et al.* (2010) Assessment of aflatoxin exposure of laboratory worker during food contamination analyses. Assessment of the procedures adopted by an A.R.P.A.L. laboratory (Liguria Region Environmental Protection Agency). *Med. Lav.*, 101, 375-380.
- 9) D. G. Hooper, V. E. Bolton, *et al.* (2009) Mycotoxin detection in human samples from patients exposed to environmental molds. *Int. J. Mol. Sci.*, 10, 1465-1475.

