

のであり、PM_{2.5}やその他の微小粒子指標(例えば、硫酸塩など)を測定した疫学研究は極めて少ない。その中でも、ハーバードの六都市研究では、PMと死亡率の関係を総粒子、微小粒子、硫酸塩、酸性粒子について調べた結果、微小粒子と硫酸塩が最も強い相関を示し、その関係は直線的であることが示された。さらに、微小粒子には気道障害性物質が多く含まれ、かつ、微小粒子の気道への侵入率や沈着率が高いことを考慮すると、PM₁₀の基準を厳しくするよりも、PM_{2.5}という微小粒子に関して新しい基準を設定する方が、健康リスクの保護を強化する観点からより有効であると考えられ、EPAは1997年に前述のPM_{2.5}の新しい大気質基準を公布した。

現在の時系列の疫学研究からは、影響が起こらない閾値を決めることはできない。最近の研究は、低レベルのPM(100 μg/m³以下)でさえも、短期間曝露は健康影響と関連していることを示唆⁴³⁾している。低レベルのPM₁₀ (0~100 μg/m³)で、短期間の曝露-反応曲線は、十分に妥当性のある直線に適合している。

PM₁₀の粒径分画および/または成分が測定された最近の研究は、PM₁₀の観察された影響は、大部分微小粒子に関連し、粗大分画(PM₁₀-PM_{2.5})とは関連していないことを示唆している。ある地域では、強いエアロゾル酸性度や硫酸塩が、PM_{2.5}に関連した影響の原因であるかもしれない。

後述するタバコ煙は、室内汚染の重要な発生源であるが、粒子状物質が、ETSを特徴付ける最良の単一の測定であるかどうかは明確でないが、通常見られる濃度での健康影響は、ゼロ以上のレベルで許容できないと考えられる結論⁴⁴⁾になっていること、ETSや他の汚染物質への曝露は、健康への悪影響を生じさせるのに相乗的に作用することを明記すべきである。

屋外と室内の粒子状物質の発生源は異なり、粒子状物質の健康影響は、既に述べたように粒径と濃度に依存している。室内の粒子状物質に関する研究は、受動喫煙を除いて殆ど研究がない。

文 献

- 1) Holland WA, Bennett AE, Cameron IR, du V. Florey C, Leeder SR, Schilling RS, Swan AV, Wallter RE : Health effects of particulate pollution : reappraising the evidence. *Am J Epidemiol* 111 : 525-659, 1979.
- 2) Mazumudar S, Schimmel H, Higgins ITT : Relation of daily mortality to air pollution : an analysis of 14 London winters, 1958/59-1971/72.

Arch Environ Health 37 : 213-220, 1982.

- 3) Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BD, Speizer FE : An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New Engl J Med* 329 : 1753-1759, 1993.
- 4) US Environmental Protection Agency : Air Quality Criteria for Particulate Matter. Research Triangle Park, NC : National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development. EPA/600/P-95/001a-cF, April 12, 1996.
- 5) WHO : Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva, 1999.

C. オゾン

1. 発生源、環境中濃度と環境基準など

光化学オキシダントの主成分は、オゾン(O₃)である。人が、オゾン(O₃)に曝露される機会は、光化学大気汚染発生時に見られる。この場合に発生する光化学オキシダントは、複雑な化学物質の集合体であるが、主成分はO₃である。オキシダントの65~100%がO₃であるといわれている。職業性では、電気溶接作業、紫外線ランプ作業や過酸化水素製造などから発生するO₃、いろいろな物質の漂白や殺菌に使用するO₃、また、電気集塵機などから発生するO₃に曝露される。室内の発生源として、脱臭などの目的で使用されるO₃発生機、電機集塵が組み込まれている空気清浄機、コピー機やプリンターなどがある。機都市大気中で記録されるO₃の1時間値の最高濃度は、約0.3~0.4ppmである。また、室内で使用されるO₃発生機、O₃対策がなされていない空気清浄機やコピー機なども換気の悪い部屋で使用すると、0.05~0.1ppm近くまで上昇する可能性がある。

環境基準は、光化学オキシダントとして、1時間値が0.06ppm以下と定められている。米国では、O₃に関して1時間値が0.12ppm(235 μg/m³)、8時間平均値が0.08ppmと定められている。EUは、O₃について1日の最高の8時間平均値が120 μg/m³と定めている。WHOでも、EUと同じ値のガイドライン値が定められている。日本産業衛生学会より、「職場での労働者の健康障害を予防するための手引」として勧告されている許容濃度は、O₃として0.1 ppmと定められている。

2. O₃の健康影響

O₃は、呼吸器刺激物質で、その毒性は、その酸化作用による。高濃度の場合は、短時間曝露でも、肺水腫

で死亡するが、濃度が低くなると、曝露量に応じて、肺線維症や細気管支炎が、また、短時間曝露では、一時的な気道刺激症状にとどまるといった曝露濃度と曝露時間に応じて異なった質の健康影響¹⁾が見られる。曝露中の活動レベルの増加は、換気量を増大させO₃の摂取量を増加させ影響が増強される。

環境大気などで、記録される0.1~0.3ppmのO₃への短時間曝露は、異なった質の健康影響を引き起こす可能性が強いことが示されている。即ち、咳などの気道刺激症状、肺機能の低下、気道反応性の亢進などが観察される。さらに、長期間曝露では、線毛の短縮~脱落、細気管支と肺胞の接合部およびI型肺胞上皮細胞の障害といった形態学的変化、感染抵抗性の減弱などが明らかにされている。また、喘息発作など呼吸器疾患の悪化による入院も報告されている。

文 献

- 1) WHO: Guidelines for Air Quality. WHO, Geneva, 1999.

D. タバコ煙

臨床的に意味のある健康リスクをもたらす室内化学物質として、証拠として確立されているものは、受動喫煙、二酸化窒素とホルムアルデヒドである。

受動喫煙は、幼児では下気道疾患の発生率を高め、咳や喘鳴などの慢性呼吸器症状の頻度を増加させ、肺機能の低下傾向をもたらす、肺の成長に悪影響を与えることは確認されている証拠である。多くの研究は、両親が喫煙者の場合、子供が重症の呼吸器感染に罹るリスクが倍増される。幼児や子供の喘鳴のリスクをオッズ比でおおよそ1.5~2.0高め、肺機能を3~5%低下させる。受動喫煙の曝露評価は、環境中の粒子濃度やガス状物質(一酸化窒素や二酸化窒素、一酸化炭素など)、また血中や尿中コチニンで評価されているが、上記の健康影響が見られる環境中のタバコ煙濃度の閾値については評価されていない。

喫煙(能動喫煙)は肺癌の確立された危険因子であるが、環境中のタバコ煙[Environmental Tobacco Smoke(ETS)]を吸入(受動喫煙)することによる肺癌罹患の危険性が問題になっている。ETSは、喫煙時の主流煙と比較すると希釈されるが、化学組成は類似しており、多くの発癌因子を含有している。

この問題に関して、米国の環境保護庁(EPA)は、以下のような結論を公表した。

ETSは、家庭や職場で広範囲に存在し、一般集団のなかの非喫煙者が曝露を受けていることは、空気の採

集や、唾液、尿や血液中のニコチンやコチニンの測定で、十分確認されている。この事は、ETS曝露と一般集団における肺癌との間に、直接的な証拠が存在しているかどうかという疑問が出てくる。しかし、曝露は広範囲にわたり、一般集団で曝露を全く受けていないグループを構成することは困難であるので、疫学研究は、より高濃度のETS曝露を受けているものと、より低濃度の曝露を受けているものを比較することになる。具体的には、喫煙者と結婚している女性の非喫煙者の肺癌発生率と、非喫煙者と結婚している女性の非喫煙者の肺癌発生率が比較される。

EPAは、様々な視点から、つまり、1)生物学的妥当性、2)動物実験および遺伝毒性の知見、3)反応の一致性、4)広範囲な証拠、5)上向き傾向の曝露-反応関係などを検討した結果、6)環境中の曝露レベルでも検出できる関連、7)曝露-反応関係の上向き傾向をもたらすバイアスを調整しても影響、8)最高の曝露グループでは強い関連が見られ、そしてこれらの関連は、9)交絡では関連を説明できないことから、①受動喫煙は、成人の肺癌と因果的に関連し、ETSは、人に対して発癌を起こすものとして、グループA(人に対する発癌性が確認されているもの)に分類されること、および②米国では、非喫煙者の間で約3,000人の肺癌死亡がETSに起因していると評価される、と結論している。

文 献

- 1) U.S. Environmental Protection Agency: Respiratory health effects of passive smoking: Lung cancer and other disorders, EPA/600/6-90/006F, 1992.

E. 硫黄酸化物

1. 発生源、環境中濃度と環境基準など

ガス状の硫黄酸化物には、SO、SO₂、SO₃、S₂O₄の4つがあるが、大気中で有意な濃度で存在するのはSO₂(Sulfur dioxide: 二酸化硫黄)のみである。SO₂は、自然発生的には火山などから、人為的には化石燃料の燃焼により発生し、水や体液に容易に溶解し、拡散しやすい反応性のガスである。二酸化硫黄は、硫黄分の多い化石燃料を使用し、大気汚染対策がなされていない時代の主要大気汚染物質で、古くは4,000人近い過剰死亡をもたらした1952年のロンドン・スモッグ事件、わが国では、1961年頃から四日市地区での石油関連産業の発展にともない、喘息様症状が多発し、四日市喘息と呼称され、二酸化硫黄との関連が問題になった。環境中の濃度は、昭和42年(1967)頃をピークに、その

後は、燃料の低硫黄化と脱硫装置の普及により年々減少していき、平成13年度は、一般環境大気測定局での環境基準達成率は99.6%となっている。

環境基準は、1日平均値が0.04ppm以下で、かつ1時間値が0.1ppm以下と定められている。米国では、24時間平均値が0.14ppm、年平均値が0.03ppmと定められている。EUは、1時間値を $350\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24時間値を $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定めている。WHOは、10分間値として $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.175ppm)、24時間値として $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)、年平均値として $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ のガイドライン値を推奨している。日本産業衛生学会の許容濃度は、検討中である。

室内汚染としては、都市ガスや石油ストーブに使用する灯油には、殆ど硫黄分が含まれていないので室内汚染源はないと考えてよい。また、一般環境大気測定局の環境基準達成率も高いので、わが国では、火山活動に伴う自然発生の二酸化硫黄が、局地的に問題となっている。

2. SO₂の健康影響

SO₂は、粘膜刺激性ガスで水や体液に容易に溶解するため、鼻、気管・気管支の上部気道で殆どが吸収されるため、上部気道への影響が主に見られる。高濃度曝露では、化学性の気管・気管支炎を起こす。低濃度長期間曝露では、慢性気管支炎様症状の有症率の増加が見られるが、共存汚染物質の浮遊粒子状物質の寄与も大きいと考えられている。わが国の環境基準¹⁾は、わが国で行われた疫学調査結果に基づき慢性気管支炎様症状の有症率の増加や閉塞性呼吸器疾患の新規患者数の増加を引き起こす濃度を評価して定められている。WHO²⁾は、喘息患者に対する調整された実験的負荷曝露研究から、影響が観察される最低濃度を $1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10分間曝露)と評価し、これに2の安全係数をかけて $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ のガイドライン値を、疫学研究から、死亡率の日間変動や肺機能の変化から24時間値 $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ と年平均値 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ のガイドライン値を推奨している。

文 献

- 1) 香川 順：わが国の二酸化硫黄の環境基準設定の基になった健康影響に関する知見の出典等について、空気清浄 25(2)：13-22, 1987.
- 2) WHO：Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva, 1999.

温熱環境因子，照度

本橋 豊

秋田大学医学部社会環境医学講座教授

研究要旨

室内空気質の健康影響を評価する目的で、ここでは温熱環境因子・照度の健康影響について総説的解説を加えた。温熱条件が関与する健康問題として、冷房病、高齢者保健福祉施設における温熱環境の制御について言及した。また、湿度環境については、ダニやカビやウイルスの繁殖との関係で考慮されるべき基準、さらにはシックハウス症候群との関連で考慮すべき条件について言及した。照度条件については、高齢者の生体リズム同調を強化する因子としての重要性について言及した。

以上、温熱環境因子および照度は室内空気質の健康影響を評価するにあたり、十分に考慮すべき要因であることを明らかにした。

A. 室内温度条件の健康影響

室内空気環境において、温度条件はヒトの健康や快適環境を維持するための重要な環境指標と考えられている。温度条件は、まず気象条件の一要因として健康現象に影響を及ぼす要因として捉えられ、生気象学の立場から多くの研究が進められてきた。例えば、東北地方で脳卒中死亡率が高率であった理由として、塩分の過剰摂取とともに伝統的な日本の室内環境が冬期に寒すぎたためと考えられてきた。初山は気候条件と死亡率の関係を研究し、気候条件は乳児死亡率や脳血管死亡率に影響を及ぼすことを生気象学の立場から明らかにしている。多くの疾病の死亡率は季節性変動を示し、特に冬季に死亡が集中する傾向を示す。このような現象は季節病カレンダーという死亡率が高い時期を一目でわかるようにした図で示される。脳血管疾患死亡は特に冬季に多い季節性変動を示すが、国民の経済水準・生活水準の向上に伴い季節変動は小さくなることも報告されている¹⁾。また、長谷川らは冬季に脳卒中の死亡率が高い地域では住環境水準が低いことを報告している²⁾。近年、東北地方の脳卒中死亡率は着実な減少を示してきたが、これには高気密・高断熱住宅の普及、集中暖房の普及等が貢献しているものと推測される³⁾。

一方、建築衛生の分野では室内温度条件をいかにヒトにとって快適に保つかという観点から室内温度環境が研究され設計されてきた⁴⁾。そのために、温熱的快適感を反映する人工的指標が用いられてきた。すなわち、気温、湿度、気流を組み合わせる有効温度(effective temperature)やさらに着衣量も考慮した新標準有効温度(standard new effective temperature)なども考案されている⁵⁾(図2)。温熱快適感の定

義は基本的にはthermal neutralityの状態を指しており、暑さ・寒さによる不快感が0の状態あるいは閾値以下の状態とされている⁶⁾。ヒトの生理反応から見ると、人間が裸体で休息しているときに皮膚の血管収縮のみによって体温を保ち得る範囲を中和温域といい、28~32℃くらいの間であるとされている³⁾。中和温域ではヒトは暑くも寒くもないと主観的に感じる。実際には人間は裸体で生活することはなく、着衣の状態で生活していることがほとんどであり、かつ現代社会では冷暖房も普及しているので、実験室で想定される中和温域は現実的に問題とされることはないであろう。

建築物や住宅の設計において温熱環境条件を考慮することは基本であり、断熱性や換気やシックハウス症候群への対応という観点から「健康住宅」という概念も普及してきており、消費者に対する付加価値にもなっている⁶⁾。健康住宅で考慮される医学的問題を列举すると、揮発性有機溶剤による室内科学物質汚染、防蟻剤・防虫剤等による室内空気汚染、カビやダニによる気管支喘息やアトピー性皮膚炎等のアレルギー性疾患、春期における花粉の室内持ち込みによる花粉症、真菌による過敏性肺臓炎、タバコの煙による受動喫煙、冬季のストーブ使用による一酸化炭素中毒などが挙げられるであろう⁷⁾。一方、大きなビルディングでは、冷房装置の吹き出し口における冷房病、冷却塔での増殖したレジオネラ属菌による呼吸器感染症、加湿装置で増殖するインフルエンザによる集団感染、空気調和設備に起因する結核の集団感染等が挙げられる⁷⁾。

また、高齢社会の進展とともに高齢者保健福祉施設では冬季のインフルエンザ流行や十分な照度に曝露されないことによる生体リズム異常(夜間徘徊や生活行動の乱れ)などが新たな健康課題として取り上げられ

ている⁶⁾。

このような居住環境と健康課題に関して、温熱環境条件はさまざまな形でヒトの健康に影響を及ぼしている。以下に、いくつかのトピックスについて詳しく触れることにする。

1. 冷房病

冷房病はオフィスにおける冷房の普及とともに問題にされはじめた適応病の一つである⁹⁾。夏期は、本来、皮膚からの発汗が増大し末梢血管が拡張し、体温の放熱反応が促進される季節である。ヒトの身体の適応機構として、このような生理反応が起きているにもかかわらず、夏の暑い外気環境から冷房の効いた室内環境に移動したときに、急激な温度条件の変化に適応できないために、下痢や腹痛などの消化器症状、神経痛や筋肉痛などの筋骨格系障害(身体がだるい、足がだるい等)、風邪を引きやすい、月経不順などの症状が出るものである。冷房病は女性の方に訴えが多い。また、冷房の気流が出る位置に近い場所で勤務している勤労者に症状が出やすいということがあるものと考えられる。冷房病では室内環境が快適温度条件であっても、外部との温度差や個人の置かれている作業条件、個人の生理的個人差、性差などにより症状の発現が異なることに留意すべきである。

夏季において、冷房の効いた部屋から暑い戸外に出ると、主観的に不快感を感じることを経験する。これは急激な温度変化が人体の体内の温度分布に異常を起こすために生じるストレス反応であると考えられる。皮膚血管による収縮と拡張によるshellの断熱力の幅が約0.8cloであるという実験などから室内外の温度差は5～7℃程度以内にするのが望ましいとされている。外気温を考慮したオフィスでの冷房温度の設定について、三浦らは2℃の幅での冷房温度を推奨しており、外気温が30℃の場合は24℃～26℃、外気温が40℃の場合には26℃～28℃を至適冷房温度としている。

室内の温度条件に関して、留意すべき点として室内の上下の温度差の問題がある¹⁰⁾。室内温度の測定において、室内の上部と下部で温度差があることが指摘されている。これは空調設備による気流測度の室内の垂直分布が均一でないことに起因するものと考えられる。小林らは中央式冷房と個別式冷房における温度の空間分布を比較し、個別式の場合は中央式に比べて温度分布の散らばりが大きく、上下温度差が生じやすい可能性を示している。また、事務所内中央紙器冷房室内で椅座作業を行う者の周辺の気流分布を調べると、床上10～20cm付近に気流測度最大の層があり、作業

者の足背、下腿、大腿などに冷風を感じさせる原因になると指摘している。

2. 高齢者保健福祉施設における温度環境

室内の温熱条件と健康という課題について、高齢社会の進展とともに重要になってきたのは、高齢者の医療福祉施設における温湿度環境の問題である。田中らは高齢者の保健施設である老人保健福祉と福祉施設である特別養護老人ホームの年間の温熱環境条件を測定し、その実態を報告している¹¹⁾。この報告によると、高齢者の医療福祉施設の室内温度条件はおおむね良好であり、病院病室の基準とされる夏季24～27℃、冬季22～24℃の範囲にあった。しかし、相対湿度については、病院病室の基準とされる夏季50～60%、冬季40～50%と比較して、夏季は多湿、冬季は低湿の状態であった。冬季の感想は、インフルエンザなどの呼吸器疾患を引き起こす可能性があることから、高齢者の医療福祉施設では特に適切な湿度の維持に努めるよう注意を喚起する必要があると考えられる。

すでに述べたように、望ましい室内温度条件とは原則として、中和温域と重なるものと考えられるが、生活環境中の人間は衣服を着けて身体活動を行っていることから、快適と感じる温度域は人口気候室という統制された環境下で求められた中和温域より幅広くなると考えられる。ヒトが快適と感じる温熱条件にはそのほかに湿度条件、気流条件が加わるため、これらの要因も含めて総合的に判断する必要がある。

「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」(いわゆるビル管理法)では基準値として「17℃以上28℃以下」と定められている。下限値の17℃は現在の実態から考えると低すぎるとする意見もある。田中らは、このような問題点を指摘しながらも、基準値とは別に、望ましい値(指針値)を定め、普及啓発を図るなど、よりきめ細かな維持管理が行えるような対応が必要であると指摘している⁷⁾。

B. 室内の湿度条件の健康影響

1. 考えられる健康影響と現行の基準

湿度は温熱環境快適性に影響する重要な要因であり、夏季の高温多湿はヒトの快適性を損なう。健康面での湿度の影響を見ると、夏季に相対湿度が上昇したときに適切な換気や除湿がなされないと、カビやダニが増殖することになり、ヒトの健康に影響を及ぼす可能性がある¹²⁾。一方、冬季では室内が低湿度状態になりやすく、ダニの繁殖は難しくなるが、インフルエンザウイルスなどの生存時間を延長させることになり、

結果としてインフルエンザの流行を招きやすくさせることになる。また、低湿度に起因する室内の乾燥は皮膚や粘膜の乾燥をきたし、アトピー性皮膚炎や気管支喘息などのアレルギー性疾患の増悪要因となり得る。冬季の室内乾燥に対しては適切な加湿が必要になることもある。特定建築物における相対湿度の不適合率は30%前後で推移しており、建築物環境衛生管理基準の中で最も不適合率が高い項目となっている。現行の基準では湿度は「40%以上70%以下」と定められている。湿度管理については、冬季において基準に定める湿度の確保が困難であることが、空気調和設備の設計者や維持管理の従事者等から指摘されている。

田中らは、異常の現状を踏まえた上で、現行の基準について次のような意見を提示している⁷⁾。

- (1) 夏季においては、相対湿度が40%以下でも生理的・心理的に満足を得ることができるとの指摘があることを踏まえて、相対湿度が40%以下になっても加湿の必要はない旨を規定する。
- (2) 冬季には40%以下ではインフルエンザウイルスの生存が延長する可能性があることから、40%を維持すべきであるが、現状の建築物において30%を下回る低湿度状態の建築物が少なからずあることから、あえて現行の基準値を引き下げず、インフルエンザウイルスの生存時間と湿度の関係がより明確になってから基準値の再検討を始めるのが望ましい。

本稿では、室内湿度条件とシックハウス症候群、ダニの生息、カビの成育、インフルエンザウイルスの関係、湿度が皮膚、気道、眼の粘膜に及ぼす影響について言及する。

2. 室内湿度条件とシックハウス症候群

室内の湿度条件とシックハウス症候群はカビやダニの繁殖という観点から重要である。

最近の研究では、湿度はシックハウス症候群にも関連している可能性が疫学的調査結果で示されている。

岸らは札幌市郊外の住宅に居住する住民を対象に、住宅の構造や状態、生活態度、現在の症状についての質問紙を実施し、症状との関連性を検討した¹⁰⁾。住宅については、住宅の地域環境、住宅形態、構造、築年数・入居年数、改築の有無、部屋の仕様、換気、湿度管理、芳香剤・防虫剤の使用状況、ダニ・ノミの発生状況、屋内でのペット飼育の有無、喫煙者の有無、などであった。症状はSHSに見られる様々な症状、皮膚、目、鼻、のど、胸、精神神経症状、体温・汗の症状、泌尿生殖器症状、関節症状、消化器症状などの62

項目であった。

その結果、湿度環境の指標である結露・カビがある方が症状ありの群に有意に多く、その指標が両方ある方に相対危険度が高くなることが認められた。また、湿気の指標には相加的な関係が認められた。具体的には、結露・カビの発生があると、SHSの発症・悪化群のオッズ比は2.98(1.88-4.72)であり、多訴群のオッズ比は3.32(1.88-5.85)であった。カビでは発症・悪化群のオッズ比は3.12(1.85-5.24)、多訴群のオッズ比は3.24(1.57-6.06)であった。この研究では調査票の回収率が低かったため(31.8%)、SHSに関心が高い人が回答した可能性などの選択バイアスがあることを考慮しなければならないが、住宅環境と健康を考える際に湿度環境を重視する重要性があることを示唆した研究であると言える。

一般に、湿度が高くなるとカビが発生しやすくなることが知られている。カビはアレルギー肺臓炎をはじめとするアレルギー疾患を誘発する可能性があることから、湿度はSHSの症状と関連する可能性があるものと考えられる。また、湿度が高くなるとダニが発生しやすくなり、その結果、気管支喘息やアトピー性皮膚炎などのアレルギー性疾患を発症させやすくなること知られている¹¹⁾。このように、湿度条件は気密性の高い屋内環境では適切に制御されることが望ましい環境要因である。除湿器の普及により、部屋の湿度を除湿器で低下させようとする家庭も増えてきている。湿度とカビの発生、湿度とダニの発生についての科学的データの蓄積が必要である。

3. 室内の湿度条件とダニの生息

気密性の高い住宅は高性能住宅として、近年では広く普及してきている。特に、東北地方や北海道などの寒冷地では、冬季でも暖かい住宅として住宅メーカーが力を入れており、健康住宅に関する関心も高まっている。高気密・高断熱住宅は寒冷地における脳卒中死亡の減少に貢献しているであろうことは推測できる。一方で、このような住居環境の変化は、ダニの生息に有利な条件を提供するようになっていると考えられる。ヒョウヒダニ類をはじめとする屋内塵性ダニ類(ハウスダストマイト)は家屋内のダニの代表である。高岡は我が国における屋内のヒョウヒダニの増加が昭和30年代から50年代にかけて起きていることを報告し、その要因として木造住宅からコンクリート住宅やプレハブ住宅への移行、アルミサッシの普及、縁の下や畳下の通気不良などを挙げている¹⁵⁾。また、カーペットやビニール製品の普及、核家族化の進展などによ

り畳干しなどが行われなくなったことも挙げている。結果として高温・高湿のダニが生息しやすい条件が整ってきたと推測している。また、高岡らは家屋内のダニ数は湿度が高いと多いことを示している¹⁶⁾。

一方、年間を通して温湿度がコントロールされている商業ビル内では、ダニに至適な温湿度が制限されるために、ダニ数は一般家屋内に比べて少ないとされている¹⁷⁾。

湿度条件がダニの行動に及ぼす影響は実験的研究で明らかにされている。宮崎らは湿度条件の違いがヒョウヒダニの行動に及ぼす影響を実験的に明らかにした¹⁸⁾。デシケーター中にヒョウヒダニを様々な湿度条件で飼育し、7日ごとにダニ数を計測し、56日間計測を続けた。その結果、相対湿度75%と86%の条件下ではダニ数は増加し続けるのに対して、相対湿度が61%を切るとダニの行動は抑制された。ヤケヒョウヒダニの生息の最適条件は相対湿度73~76%であるとされており、コナヒョウヒダニの生息の最適条件は相対湿度60~70%であるとされており、宮崎らの研究もこれを支持するものであった。宮崎らは、ダニの行動抑制に木材精油(木の香り)が効果を有することも報告しており、低濃度のヒバ材油で行動抑制が起きることを実験的に示した¹⁹⁾。また、ヒバ、ヒノキ、クスノキの木材チップの揮発成分によっても、ヤケヒョウヒダニの行動抑制が起きることを示している。このように、木材由来する香り成分(精油)Haヒョウヒダニの行動抑制を起こすことは明らかであることから、実際の生活環境中に木材精油をしみ込ませてダニの行動抑制をもたらすことはできないかという応用研究も行われつつある。畳の中に針葉樹薄板を挿入したりカーペットに木材精油を含有させたりするアイデアが提案され、ダニの行動抑制効果を見る研究が行われ、その実用可能性が論じられている²⁰⁾。

高層集合住宅の階層(低層階か高層階か)が室内塵性ダニ類の分布に及ぼす影響についての興味深い研究報告がある。青木らは7階建てと11階建ての高層集合住宅を対象として、階層の室内塵性ダニ類の生息分布と室内温湿度変動を調査した²¹⁾。その結果、高層階ではヤケヒョウヒダニ、イエササラダニ、ツメダニ類、ホコリダニ類などの減少傾向が認められたが、コナヒョウヒダニの分布は階層に影響されなかった。その原因として、高層階では室内湿度が低下し、湿度要求性の高いヤケヒョウヒダニや非チリダニ類の生息分布に適さなくなることが推測された。コナヒョウヒダニは湿度要求性が低く、高層階でも生息分布しているのではないかと推測された。また、階層だけでなく建物の気

密性や周辺環境も室内気候に関係していると推定された。

4. 室内の湿度条件とカビの生育

菅原らは湿度とカビの菌糸の伸張速度の関係を調べ、カビの菌糸は湿度が高いほど伸張速度が速いことを示している。しかし、湿度が75%では湿度100%と比べて伸張速度が約半分程度にあり、55%以下になると菌糸はほとんど伸びなくなる。したがって、湿度を55%以下に抑えるのが望ましい²²⁾。

5. 室内の湿度条件とインフルエンザウイルス

相対湿度とインフルエンザウイルスの生存率に関する古典的な研究としてHemmesらの報告が挙げられる²³⁾。インフルエンザウイルスのエアロゾルとしての噴霧2分後の死滅率は相対湿度が40~50%を境に大きく変わり、相対湿度が40%以下ではウイルスが1%弱しか死滅しないのに対して、50~90%では1割弱が死滅すると報告している。この結果から、ウイルスの死滅率で見ると、相対湿度の下限値は50%とすべきであるとされた。また、Harperらはインフルエンザの生存率の時間的変化と相対湿度の関係を研究し、相対湿度が50%以上の場合にはウイルス生存率が10時間後に0.1%であるのに対して、相対湿度が35%と20%では10時間後に約半数が生存し、24時間経っても10~20%程度が生存していた²⁴⁾。

これに対して、庄司は湿度とインフルエンザ流行の関係について、湿度の基準には相対湿度より絶対湿度(水蒸気圧)を用いるべきであるとしている²⁵⁾。宮城県のインフルエンザ流行と気象条件の関係を調べ、庄司はインフルエンザ流行は平均気温5℃、平均絶対湿度5g以下で流行すると報告し、ウイルスが40~60%生存する絶対湿度5g以下の条件で流行が始まると推測している²⁶⁾。

6. 空気調和設備・加湿器と過敏性肺臓炎

建築物の空気調和設備や加湿装置が好熱性放線菌などの微生物により汚染され、細菌による肺炎や真菌による過敏性肺臓炎などが発症する。実際に、空気清浄装置、加湿装置、冷却塔、ダクト等の空気調和設備システムの構成機器が種々の細菌や真菌の汚染源になり得ることが報告されている²⁷⁾。

7. 湿度が皮膚、気道、眼の粘膜に及ぼす影響

湿度が低下すると、皮膚・粘膜からの水分の放散が促進し、皮膚・粘膜の乾燥が起きることになる。普通

に生活している条件下では不感蒸泄は約900mlで、その1/3が呼吸による気道から、2/3が皮膚からの水分蒸発である²⁶⁾。不感蒸泄は、外気温、湿度、ヒトの代謝量により変動するが、湿度はそのうちでも重要な要因である。

McIntyreらによると、皮膚にとって最適な温湿度は23℃、相対湿度70%としている²⁷⁾。湿度の低下とともに皮膚からの水分蒸発は増加し、20℃、相対湿度15%以下になるとドライスキンが生じるとの報告がある²⁸⁾。皮膚の乾燥が激しくなると、あかざれやひび割れを起こすことになる。

湿度低下による呼吸器の粘膜乾燥については、Proetzの研究では室内の相対湿度が25%まで下がると鼻の乾燥を近くすると報告されている²⁹⁾。また、Winslowらは絶対湿度が8.42g/kg(DA)以下では口腔粘膜は顕著に乾燥することを示した³⁰⁾。

C. 気流の健康影響

気流はヒトの体熱の放散を促進し、室内の換気の原動力になることから、環境衛生上は必要な温熱環境要素である。

現行の基準では気流は0.5m/秒以下と定められている。気流は温熱環境の快適性に関わる要因であり、夏季には一定の気流を維持することで比較的高い温度で冷房運転することが可能になる。気流が1m/秒増すごとに体感温度は3℃程度下がることから、省エネルギーの観点からも適度な気流を維持することが重要である⁷⁾。

空調を行っている特定建築物等における部屋の気流は、送風の吹き出し口の形状や位置、間仕切りの衝立や机の配置などにより変化するため、気流分布は必ずしも均質ではなく、気流に強くあたる場所やあまり当たらない場所などの不均衡を生じる。夏季の冷房においては、冷房病の発症にこのような気流分布の不均衡が関与している可能性がある。

D. 室内照度条件と高齢者の健康

室内照度条件は、従来、自然採光の照度が不適當である場合に、目の疲労感や作業能率の低下が生じ、近視や眼精疲労などの健康障害の原因になるという観点で論じられてきた³¹⁾。建築基準法では採光に有効な窓の広さの床面積に対する割合の下限を決めており、住宅や病院などの部屋では1/7以上、その他の居室では1/10以上としている。照度基準はJIS(日本工業規格)で定められており、例えば、住宅・共同住宅で勉強や読書をする照度基準として500~1000luxと決められて

いる。適正な照度は部屋の種類や用途により異なっている。

ところで、高齢社会の進展とともに家屋内で暮らす時間が長い高齢者が増えている。在宅要介護高齢者は、日常生活動作能力の程度にもよるが、ほとんど家の中で生活している人がいる。また、要介護状態でなくても自宅に閉じこもりがちな「閉じこもり高齢者」では屋外に外出する頻度が減っているため、室内環境条件が高齢者の健康度に影響を及ぼし得る。室内照度条件はこれまで、温湿度条件などと比べて、健康面での影響が検討されることが少なかった。しかし、近年、居住環境内の照度条件が高齢者の生体リズムに影響を及ぼす可能性があることが報告されており⁸⁾、照度条件と高齢者の検討に関心が高まっている。いくつかの具体的な研究から、この問題における重要性について考察を加えたい。

体温や睡眠覚醒リズムのサーカディアンリズムが24時間周期に同調するためには十分な照度の太陽光が必要である。高齢者は生体リズム同調が若いときと比べて減弱化しており、太陽光を十分に浴びないと生体リズム同調が弱まり、生体リズムの脱同調をきたす可能性がある。

本橋は、高齢者の生活の場での照度条件の実態を明らかにするために、夏期の7月における有料老人ホームにおける照度を測定した⁸⁾。測定場所は一階南向きの和室で、晴天時の午後2時に南向き窓から1mの直射日光を避けた場所で、カーテンが有りの場合となしの場合の2条件で測定した。カーテンなしの場合には約3000luxであり、カーテン有りの場合には約2000luxであった。南向きの窓から1mの位置では、正午を中心に十分な照度があった。しかし、南向き窓から2mほど奥まった位置にある和室内においては、快晴時でも日中の照度は500~1000luxであり、一日を通じて不十分であった。このことは、和室内を中心に高齢者が生活している場合、日常生活動作能力が低下して部屋の中から外に出ないような場合には、室内照度は生体リズム同調には不適當であることを意味している。

照度測定を実施した有料老人ホームで生活している73歳女性の生体リズムの自己測定結果では、眠気度のサーカディアンリズムの周期が19.5時間を示し、24時間とは異なっていた。この女性は不眠症に悩まされており、眠気度のサーカディアンリズムの内的脱同調は不眠症と関連しているものと考えられた。この例に見られるように、高齢者では何らかの原因で生体リズムが脱同調する可能性があり、屋内の照度不足がこれに関与している可能性が否定できない。

さらに、本橋らは高齢者の保健・福祉の現場で最も良く遭遇する痴呆を有する高齢者の夜間徘徊の出現頻度を行動量リズム測定により求めた³²⁾。その結果、介護老人保健施設に入所している要介護高齢者の約50%に行動量リズム異常が認められた。行動量リズム異常の種類では昼夜境界消失型(いわゆる夜間徘徊型)が最も多かった。痴呆を有する高齢者では行動量リズム異常は外部同調因子の生体リズムへの影響が弱まることの原因ではないかと推測されている。光同調因子は外部同調因子の中でも最も重要な同調因子であり、要介護高齢者が生活する施設の設計において、考慮されるべき要因であると考えられる。

照度条件と疾病の関連性で考慮されるべきもうひとつの課題は、精神疾患とくにうつ病の問題である。うつ病の発症は春期に多い季節変動を示すことが疫学的に知られており、これには日照時間の長日性変化が関係しているのではないかと推測されている。また、うつ病のなかで季節性感情障害(冬期うつ病が代表的)と呼ばれている病気は冬期にうつ病の症状が悪化するという季節性を示し、日照時間の長さが症状発現に関与しているといわれている³³⁾。地方や日本海側の豪雪地帯で自殺死亡率が高い原因のひとつとして、このような日照量の不足による感情障害の頻度が高いためではないかも推測されている。居住環境要因のうち、室内照度が冬期に十分に保たれているかどうかの問題になりうる。季節性感情障害の治療法として高照度光療法が有効であるが、居住環境の設計において、冬期の日照量の確保を念頭におくことが、東北地方等では重要かもしれない。

E. 危険情報

なし

F. 参考文献

- 1) 初山政子：疾病と地域・季節，大明堂，東京，1971。
- 2) 長谷川房雄，吉野 博，新井宏朋，岩崎 清，赤林伸一，菊田道宣：脳卒中の発症と住環境との関係についての山形県郡部を対象とした調査研究。日本公衆衛生雑誌，32，181-192，1985。
- 3) 吉野 博：寒冷地における居住環境，日本生気象学会雑誌，34 (1)，23-30，1997。
- 4) 満洲邦彦：人工環境-温熱環境における快適性。入来正躬編・体温調節のしくみ，160-177，1995。
- 5) 西 安信：人体と環境と熱環境。中山昭雄編・温熱生理学，33-72，理工学社，東京，1981。
- 6) 田辺新一：室内化学汚染，講談社現代新書，講談社，東京，1998。
- 7) 田中正敏，小林秀幸：建築物の環境衛生管理をめぐって，日本衛生学雑誌，58 (2)，231-240，2003。
- 8) 本橋 豊：要介護老人の日常生活動作能力の向上に必要な生体リズム同調に関する研究。平成6年度文部省科学研究費補助金報告書，東京医科歯科大学，東京，1995。
- 9) 吉田敬一：室内温熱と人体反応。中山昭雄編・温熱生理学，574-585，理工学社，東京，1981。
- 10) 小林陽太郎：冷暖房の実態と人間・熱環境的評価。中山昭雄編・温熱生理学，585-611，理工学社，東京，1981。
- 11) 田中正敏，前田享史，川端絹代，小林敏生，佐藤喜三郎：医療福祉施設における温熱環境条件。病院設備，42 (2)，263-264，2000。
- 12) 池田耕一：水蒸気(湿度)。室内空気汚染の原因と対策。日刊工業新聞社，1998。
- 13) 岸 玲子：北海道におけるシックハウス症候群に関する実態調査研究。厚生科学研究費補助金・生活安全総合研究事業・「シックハウス症候群に関する疫学的研究総合研究報告書」90-124，2003。
- 14) 宮崎良文：木と森の快適さを科学する(第4章：木材とダニ)。全国林業改良普及協会，2002。
- 15) 高岡正敏：住環境の変化とダニ数の関係。アレルギ-の臨床，9，96-100，1989。
- 16) 高岡正敏：住居内ダニ類に関する研究。御茶の水医学雑誌，277-288，1986。
- 17) 吉川 翠：商業ビルディング床面のダニ調査。東京衛研年報，40，259-263，1989。
- 18) Oribe Y, Miyazaki Y. Effects of relative humidity on the population growth of house-dust mites. J. Physiol. Anthropol. 19 (4)，201-203，2000。
- 19) Miyazaki Y, Effects of hiba (Thujopsis dolabrata variety hondae) wood oil on the house dust mite (Dermatophagoides pteronyssinus). Mokuzai Gakkaishi. 42 (6)。624-626。1996。
- 20) 森 孝博，宮崎良文，他：材油含有カーペット清浄剤によるダニの行動抑制効果。第50回日本木材学会大会研究発表要旨集，198，2000。
- 21) 青木 哲，水谷章雄，須藤千春：高層集合住宅における階層の室内塵性ダニ類の分布に及ぼす影響。日本生気象学会雑誌，35 (4)，133-144，1998。
- 22) Hemmes JH, Winkler KC, Kool SM: Virus survival as seasonal factor in influenza and

- poliomyelitis. Nature 188, 430-431, 1960.
- 23) Harper GJ : Airborne micro-organism : survival tets with four viruses. J. Hyg. Camb. 59, 479-486, 1961.
 - 24) 庄司 眞 : 気象と感染症流行の相関に関する研究 第1報 湿度の基準には相対湿度より水上気圧を. 抗酸菌研究所雑誌, 37 (3・4), 327-331, 1985.
 - 25) 庄司 眞 : 季節とかぜ—特にインフルエンザの流行について—, 臨床と研究, 71 (12), 3030-3038.
 - 26) 森本武利 : 体液の反応, 中山昭雄編・温熱生理学, 188198, 理工学社, 東京, 1981.
 - 27) McIntyre DA, Griffiths ID : Subjective responses to atmospheric humidity. Environ. Res. 9, 66-75, 1975.
 - 28) Gaul E, Underwood GB : Relation of dewpoint and barometric pressure to chapping of normal skin. J. Int. Dermatol., 19, 9-19, 1952.
 - 29) Proetz AW : Humidity, a problem in air conditioning Ann. Otol. (St. Louis), 65, 376-384, 1956.
 - 30) Winslow CEA, Herrington LP : Temperature and human life. Princeton University Press, 1949.
 - 31) 田中正敏 : 衣服および住居. 真野喜洋編・スタンダード公衆衛生学, 391-400, 文光堂, 東京, 2002.
 - 32) Motohashi Y, Meda A, Wakamatsu H, Higuchi S, Yuasa T : Circadian rhythm abnormalities of wrist activity of institutionalized dependent elderly persons with dementia. J. Gerontol. Med. Sci. M740-M743, 2000.
 - 33) ノーマン・E・ローゼンタール・太田龍朗監訳. 季節性うつ病, 講談社現代新書, 講談社, 東京, 1992.

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

音, 振動について

中村裕之

高知大学医学部環境医学教授

研究要旨

室内空気質の健康影響を評価する目的で、ここでは音と振動の健康影響について総説的解説を加えた。職域で問題になる騒音性難聴という音による聴覚への物理的影響以外に、自律神経-内分泌系への影響の結果、食生活の乱れ、飲酒量の増大などの生活習慣の変化が生じ得るが、生活環境における騒音レベルは小さく、通常的生活環境で、これらの騒音影響が生じる可能性は極めて少ない。振動には、手持ち工具での作業のように、手にだけ伝達される手腕振動（局所振動）と、地ならし機などの車両を操作する際や、家屋の揺れに際して全身に曝露される全身振動がある。手腕振動と全身振動に厳密に区別して論じる必要があり、室内空気環境では、全身振動が問題になる。全身振動による健康影響として、職場での腰椎や妊娠子宮への機械的作用による腰痛や流産、あるいは慢性影響としての不眠や胃潰瘍などがあるが、実際の生活環境では、このような影響を引き起こす振動レベルよりはるかに小さく、室内空気環境における振動が、このような健康影響を引き起こすことはない。このように、本論では、室内空気質における音と振動の健康影響を、職域と生活域に区別し論じた。

A. 音

音は、純粋に物理的現象であって、その性質は周波数、音圧および波形の三要素によって物理的に表現できる。ヒトの聴覚で感じることができる周波数領域は、およそ20~20kHzの範囲であって、これを可聴音と呼び、20Hz以下の波動を超低周波音と呼び、20kHz以上の波動は超音波と呼ばれている。騒音の概念は、このような客観的な物理量として定義されるのではなく、主観的なヒトの感覚であるために、騒音を取り扱う場合、特に、その評価に関しては、物理量である一面と、それに対するヒトの生体反応という面を、絶えず同時に考慮する必要がある。音の物理量を表す単位は、音響エネルギー密度レベル($L_e(\text{dB}) = 10\log_{10}(E/E_0)$ 、 $E_0 = 2.94 \times 10^{-15} \text{ J/m}^2$)で表す。

1. 騒音レベルと健康影響

音は、内耳の外毛細胞と内毛細胞が人体における最初の感覚受容器であり、物理量としての騒音はこれらの細胞の変性やコルチ器の破壊をもたらすことにより、耳痛や聴力損失をもたらす。さらに、音は耳から大脳聴領への固有経路を通るが、このとき、脳幹網様体を介して大脳皮質に到達する非特異的投射経路と特異的経路を刺激し、音の「うるささ」などの不快感が生じる。この音の「うるささ」を、統一的に評価する場合の基本的な量が騒音レベルである。騒音レベルは、一般環境では等価騒音レベルによって頻繁に表され、また、純音に対する周波数ごとの等ラウンドネス曲線を

用いた周波数重み付け音圧レベルがよく用いられるのは、騒音に対する評価法として、物理量と感覚量である「うるささ」を最も反映しているものとして理解されている。中でも、A特性と呼ばれている周波数特性の重みづけをして測定した音圧レベルdB(A)は、様々な産業職場で用いられる。このときの等価騒音レベルを L_{Aeq} と記す。騒音レベルが、一般環境では、等価騒音レベル(L_{Aeq})によって頻繁に表される。図1に示す騒音による生体反応のほとんどは、この「うるささ」から生じているために、騒音レベルとの間には、量-反応関係が成立することになる。このことは、後述する衝撃音や、低周波音以外では、聴覚に対する影響と他の生体反応がよく一致することを示しており、妥当性に富んだ物理的指標といえる。

騒音の生体影響としては、聴覚への物理的影響以外に、視床下部-下垂体-副腎皮質系をはじめとする内分泌系への影響や、交感神経系の亢進によって唾液、胃液の分泌減少、胃腸運動抑制、瞳孔の散大などが生じる(図1)。これらの内分泌系や自律神経系への影響は、情動ストレスによる急性期の反応であり、非特異的作用の結果として見る事ができる。また情動ストレスの作用の結果、生活習慣の変化、例えば、食生活の乱れ、飲酒量の増大、運動習慣の低下、喫煙量の増大、睡眠障害などが生じ、様々な生活習慣病が生じる。これが、慢性の間接的な影響として位置づけられるものである。しかしながら、これらの影響が生じるレベルは、職場環境での騒音レベル以上のものと理解され

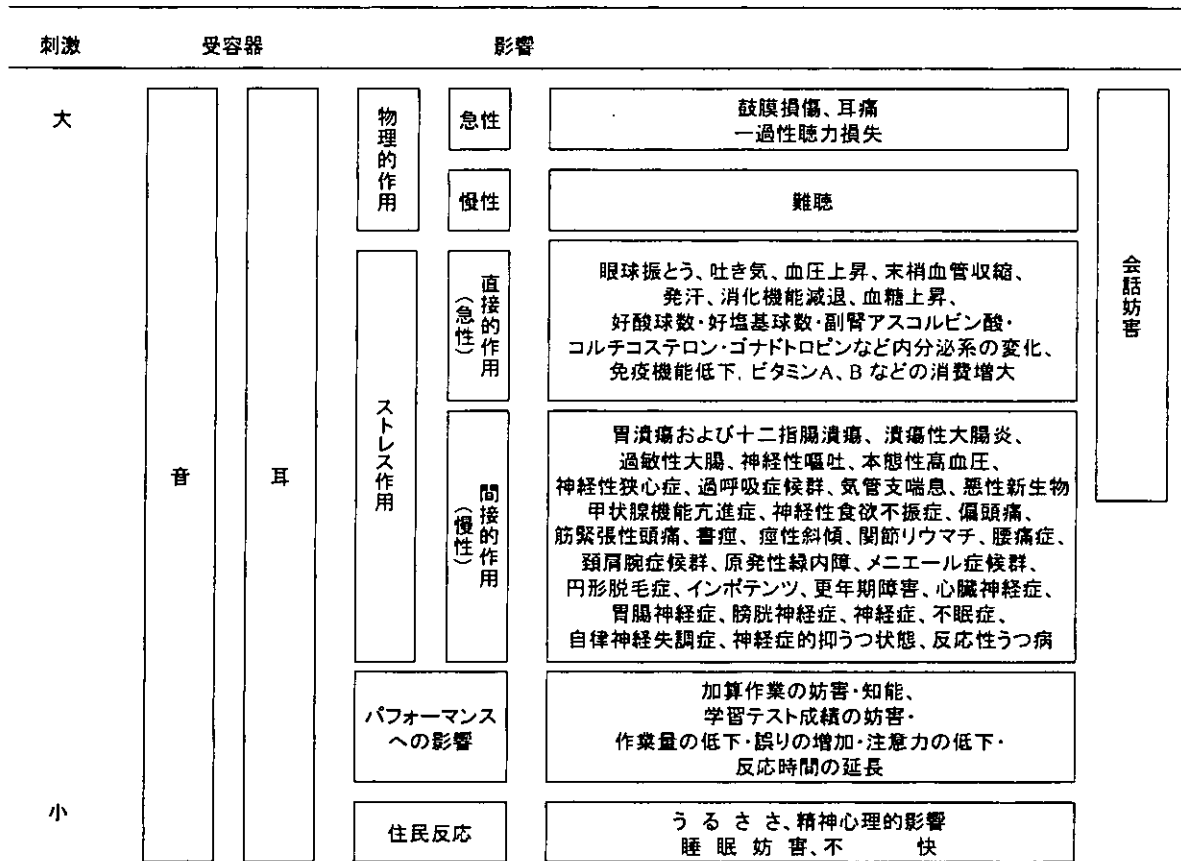


図1 騒音による影響

ている”。

2. 騒音の特異的影響

騒音レベルが大きい場合、例えば、職場環境で85 dB(A)以上を繰り返し、曝露された場合には、騒音性難聴が生じることもある。これは、騒音による特異的影響であって情動ストレスによる影響にないところである。また、衝撃騒音の場合に、騒音レベル以外に、ピーク値や、単発騒音曝露レベルによって扱われることで評価される。この場合にも、衝撃騒音の場合の聴覚への主観的影響が生体反応とよく比例することとなる。

慢性影響については、ISO 1999の加齢と騒音性難聴についての基本的な仮説(図2)では、聴器への慢性影響を、感覚量とほぼ平行であるとしており、騒音に関する限り、周波数補正による等価騒音レベルによって評価することで、一応の解決はしている。

「うるささ」は、非特異的の反応と比例するため、「うるささ」も情動ストレスの1つとしてみなされてしまう傾向があるが、「うるささ」は騒音によってしか生じないため、特異的の反応である。この「うるささ」が生じる

脳内神経伝達機構を調べたNakamuraら²⁾の研究によれば、騒音ストレスの中樞カテコールアミンへの影響をトバミン(DA)で見ると、騒音刺激によって中脳-前頭葉皮質、中脳-側坐核および中脳-扁桃体DA系が活性化されることを確認したが、非特異的の反応として中脳-前頭葉皮質DA系が賦活化されることは疑いなく、また扁桃体でのDA代謝亢進は騒音だけで生じる特異的の反応として位置づけることができた。騒音曝露時の脳内のサブスタンスP(SP)の変化を知るために、その特異的の免疫活性、すなわちSP様免疫活性(SP-LI)を調べたが、扁桃においてSP-LIの低下を認めた。これはこの部位で特異的に認められたDA代謝の亢進との機能的な関連によって騒音の際の「うるさ

$$\begin{aligned} \text{聴力レベルの実測値(dB)} = & \\ & \text{年齢による難聴(dB)} + \text{騒音による難聴(dB)} \\ & - (\text{年齢による難聴(dB)} \times \text{騒音による難聴}) / K \end{aligned}$$

図2 加齢による聴力低下と騒音性難聴(ISO 1999)—聴力損失モデル

さ」の処理に携わっていると想定された²⁾。

3. 騒音の環境基準

一方、小さい騒音レベルでも生活環境であるならば、始終、ストレスとなりうるから、その基準は、より影響が少ないレベルで設定されている。小さいレベルでの騒音では、パフォーマンスへの影響や、様々な住民反応が生じる(図1)。

(1) 騒音苦情状況

環境省は平成13年度の騒音苦情状況と騒音規制法の施行状況を取りまとめた(2002年12月24日)。平成13年度の騒音苦情件数は、平成12年度に比べ約3.4%増加した14,547件となった。

発生源別内訳では、工場・事業場騒音が最も多く5,150件(全苦情件数中の約35.4%)、建設作業騒音の3,776件(約26.0%)、営業騒音の1,897件(約13.0%)がこれに続き、都道府県別では、東京都、大阪府、愛知県、神奈川県、ワースト4都府県で全国の騒音苦情件数の約49.3%を占めた。また、騒音規制法に基づく規制地域を有する市区町村は、平成13年度末現在で、全国の市区町村の約65.6%に当たる2,128市区町村にのぼった。

法に基づき届出された規制対象の工場・事業場の総数は、全国で208,779か所あり、この特定工場に対して立入検査が819件、改善勧告が3件。行政指導が918件行われた。また、法に基づき届出された建設作業の総数は55,627件で、これらの建設作業に対して、立入検査が1,083件行われたが、改善勧告は行われなかった。行政指導は1,229件行われた。

(2) 騒音に係わる環境基準(平成10年環境庁告示第64号)

1) 道路に面する地域以外の地域

環境基準は、地域の類型及び時間の区分ごとに次表の基準値の欄に掲げるとおりとし、各類型を当てはめる地域は、都道府県知事が指定する。

地域の類型	基準値	
	昼間	
AA	50デシベル以下	40デシベル以下
A及びB	55デシベル以下	45デシベル以下
C	60デシベル以下	50デシベル以下

(注) 時間の区分は、昼間を午前6時から午後10時までの間とし、夜間を午後10時から翌日の午前6時まで

の間とする。AAを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。Aを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。Bを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。Cを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。ただし、
2) 道路に面する地域

地域の区分	基準値(デシベル)	
	昼間	夜間
A地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域	60以下	55以下
B地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域及び		
C地域のうち車線を有する道路に面する地域	65以下	60以下

幹線道路に近接する空間については、特例として次表の基準値の欄に掲げるとおりである。

<基準値>昼間70デシベル以下/夜間65デシベル以下
なお、この基準制定の根拠になった答申が
http://www.env.go.jp/press/file_view.php3?serial=1441&hou_id=1944にある。

4. 低周波音の生体影響

以上の生活環境における騒音基準には、騒音レベルが用いられているが、これが100dBより低い低周波音に対しても適当かどうかを、睡眠に対する影響について調べた研究がある³⁾。

睡眠の浅い段階であるS1の場合には、40dBの曝露に対しても、反応の発生率は51%にも達したことなどから、睡眠が浅い程、交通騒音曝露の影響が大きいこと、また交通騒音曝露の影響は一過性のものとはいえず、睡眠パターンにかなりの影響を与えることが示されている。なお低周波音の睡眠への影響を明らかにするため交通騒音に曝露した場合についても観察し比較したが、いずれの睡眠段階でも60dBの方が大きな影響を受け、40dBで最も影響は小さかった。しかし、S1の場合には、40dBの曝露に対しても、反応の発生率は51%に達した。40dB以外では、反応の発生率はS1で最も高く、レム睡眠時(SREM)に最も低かった。睡眠率の低下および睡眠段階移行回数増加は観察され

なかった。これに対し、全就床時間に占めるS3+4の割合は模擬交通騒音の曝露初日に対照夜より有意に低下した。これらの結果は、睡眠が浅いほど、交通騒音曝露の影響が大きいこと、また交通騒音曝露の影響は一過性のものとはいえず、睡眠パターンに影響を与えることが示唆されている(図3)。

5. 超低周波音

本来音として感知できないとされた、いわば可聴音周波数以下の低い周波数の空気振動にも関心をもたれるようになった。工場では圧縮機、送風機、振動ふるいなどで、生活環境ではダムの放流、高速道路橋などで騒音、振動とは異なる低周波の空気振動による影響が注目されたことがきっかけとなっている。1973年のパリ会議では0.1~20Hzの周波数範囲の音を超低周波音(infrasonics)と定義しているが、実際には可聴音も混在していることが多く、0.1~20Hzの空気振動成分を主としながらも可聴域下限の低周波数の音をも含めて超低周波空気振動、超低周波音と呼んでいる。

超低周波空気振動が話題になったのも伝播距離が大きく、波長が長いので工学的に除去、軽減することが難しいことにもよる。人体影響の発現機序や受容の過程などをこれからの問題点としているものの、音としてではないにしても皮膚知覚のほか、すでに述べたように、少なくとも聴器でも感受されるという意見があ

る。すなわち、古典的な可聴域の見直しも提起されている。

健康状況に関するアンケート調査を面接法によっておこなったが、低周波音による反応としては、「気分がいらいらする」、「睡眠の妨害」、「咽頭部の振動感・乾燥感」、「低い音が気になる」、「のどのあたりがこそばゆい」、「息苦しいまたはせきができる」、「鼻の中がかゆい」の順に回答率が高かった。騒音と超低周波音による反応を比較検討したところ、「鼻の中がかゆい」、「咽頭部の振動感・乾燥感」、「のどのあたりがこそばゆい」、「息苦しい、または咳が出る」などの咽喉頭部に関連する項目が超低周波音に、より特徴的なものであるとして抽出された¹⁾。

閾値についての研究も活発であって、図3にその一端を示してある。Johnsonの可聴閾値は、10Hzで低いところは91dB、高いレベルは100dBにあり、超低周波空気振動により胸・腹壁の振動感、のどのくすぐったさ、窒息するような感じなどが訴えられる。Tsunekawaraの研究による結果²⁾を、身体各部位で感知した反応数から得られた反応率を80、50%のレベルで図4に示した。前述のパリ会議で提案された生理的影響の発現しない限界は、2Hzで130dB、20Hzで120dBというさらに高い水準におかれており、現実の超低周波音によっては生理的影響はないものの住民反応に近い生理的反応があることを窺わせる。

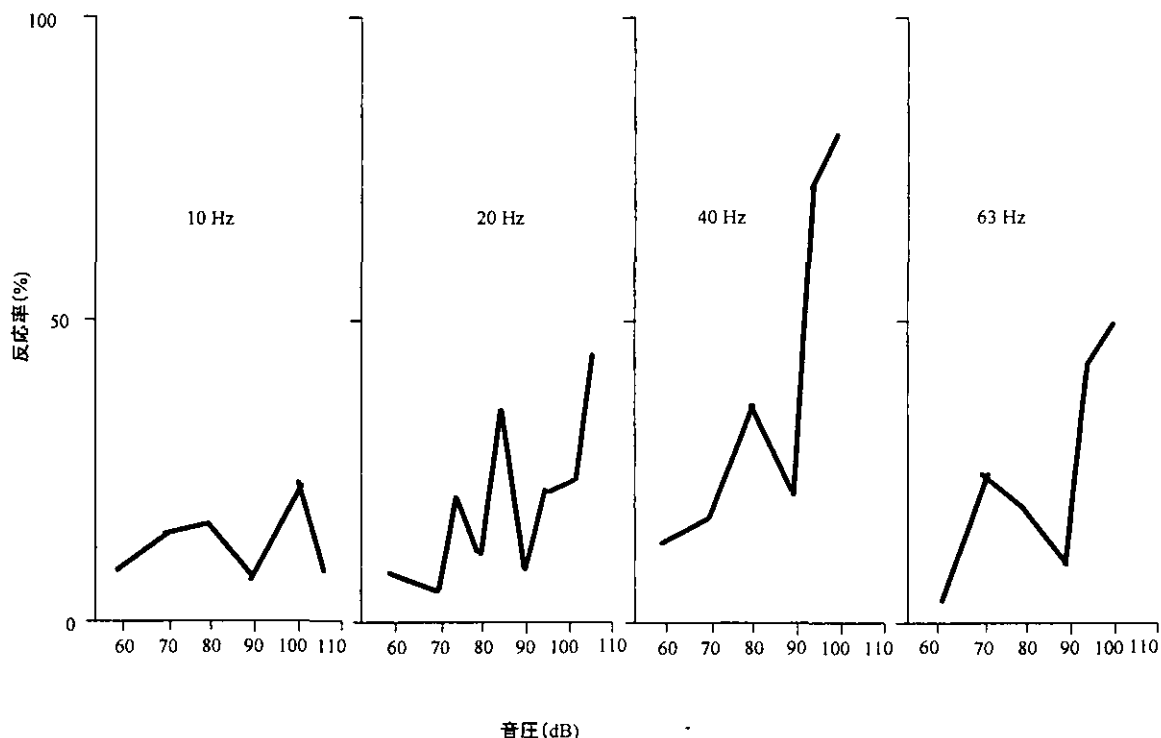


図3 低周波音の睡眠反応率への影響

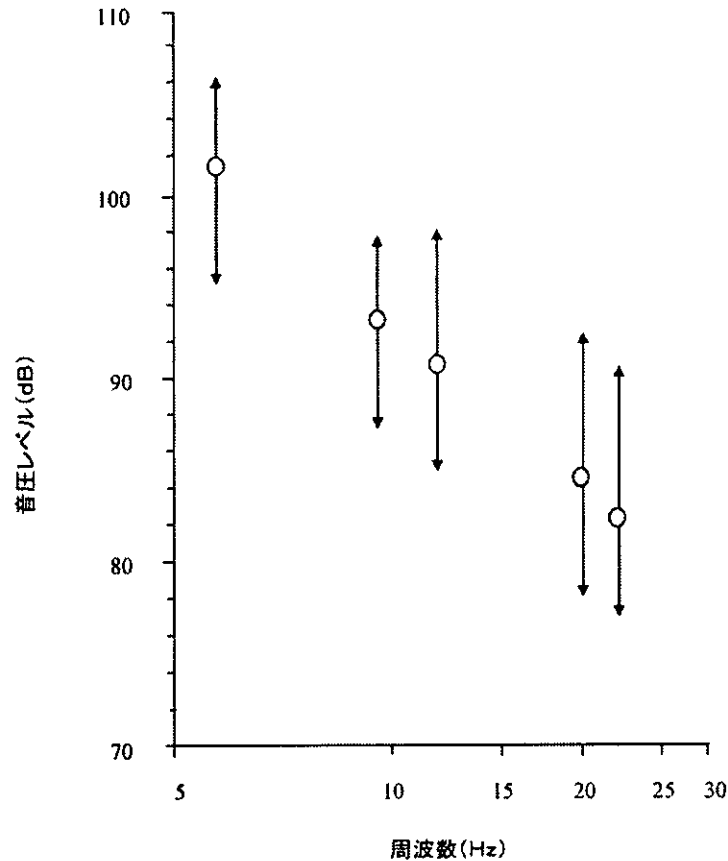


図4 超低周波音圧レベルと主観的反応

6. 超音波

20kHz以上の周波数を有する超音波は、温熱作用や振動作用によって血液、リンパ液等体液の循環を促進し、新陳代謝を活発にさせる作用があるために、人体へ有効利用され、あるいは超音波発生装置によって、器具などの消毒、洗浄、溶着、ドリルにも使用される。いずれの場合にも過剰な曝露は、聴覚を通じて耳鳴り、耳内痛を引き起こす。さらには全身性の影響として頭痛、嘔吐、嘔気、めまい、全身疲労感が生じるが、これは、聴覚に加え振動覚、温度覚に影響を与えた結果と考えることができる。生活環境における超音波のレベルは、このような生体影響を与えるほど大きくはない。

B. 振動

1. 局所振動と全身振動

振動には、手持ち工具での作業のように、手にだけ伝達される手腕振動(局所振動)と、地ならし機などの車両を操作する際や、家屋の揺れに際して全身に曝露される全身振動がある。手腕振動では、慢性曝露により白指症などの末梢循環障害、末梢神経障害、骨・関節障害が産業医学上の問題となる。これを振動障害と

呼ぶ。欧米諸国では、振動とは全身振動を指し、産業医学上や環境医学上の大きな問題となる。このように、手腕振動と全身振動に厳密に区別して論じる必要がある。本論である室内空気環境では、全身振動が問題になる。

2. 全身振動の生体影響

全身振動では、交通車両、農業用車両、船舶、航空機などのように、立位、座位あるいは体をもたれたりして振動が足や臀部などから伝播し、体全体がゆれ動かされる条件での振動曝露であるため、振動の人体への影響を知るためには、振動は人体のどの部位にどのように伝達するか、すなわち人体への伝達様相が重要となる。その際には、振動加速度を一定にしたときには、周波数の振動感覚に与える影響は最も特徴的であり、かつ最も重要である。垂直振動と水平振動では、振動数と振動感覚の関係が全く異なり、垂直振動の場合、振動加速度を一定にすると、おおよそ振動数4～8Hzにおいて最も振動が大きく感じられ、それより大きくても小さくても振動感覚は小さくなる。一方、水平振動の場合 2Hzまでが最も振動感覚は大きく、それより振動数が大きくなるにつれて、振動は小さく感じ

られるのである。この関係は、振動感覚のみならず、上肢の筋活動、循環器系、呼吸器系機能などの生体の生理的機能と周波数との関係にもあてはまり³⁾(図5)、さらに、人体各部位の共振振動数を考慮に入れ、作成された国際的ガイドライン ISO 2631(1978)の振動数評価曲線(図6)に寄与している。しかしながら、ごく最近、パフォーマンスをさらに詳細に区別した周波数重み付け曲線が提案されている(図7)。また、振動曝露時の疲労-上達(能率)減退境界(fatigue-decreased

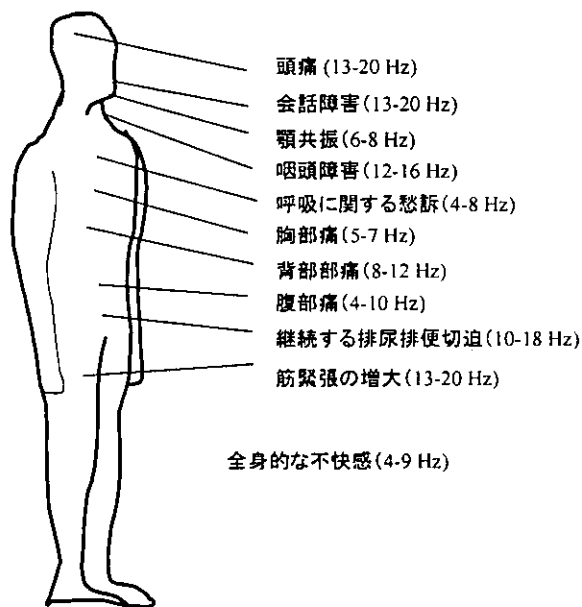


図5 刺激振動数と種々の器官領域における愁訴との関係 (Magit and Coermann, 1960)

proficiency boundary)を図8に示す。健康や安全の保持が目的の曝露限界(exposure limit)を求めるには、加速度レベルで6dB高く、快適性の保持が目的の快適減退境界(reduced comfort boundary)を求めるには、10dB低くとする。

全身振動による健康影響は、図9の如くにまとめられる⁴⁾。振動のヒトに与える不快感は、独特なものがある。その脳内神経伝達機構は、騒音のものとは、大きく異なることが知られている⁵⁾。特異的影響としては、振動レベルが大きいときには、出血(肺・膀胱・心・肝・胃・腸)、内臓の圧迫・伸展・変位・下垂(胃下垂・腎下垂)、脊柱の変形異常、流産が生じる。この慢性影響として脊椎骨折と胃潰瘍が知られている。この胃潰瘍と、ストレス性の胃潰瘍の違いは Nakamura⁶⁾によって詳細に検討された。結局、胃という宙吊りの臓器が、機械的な振動によって共振状態となるために、胃粘膜が牽引、伸展することによって胃粘膜虚血を生み、胃粘膜病変につながるということがわかった。機械的な作用ということで、情動ストレスの因子の関与は少ない。

また、妊婦は飛行機に乗ると、流産を起こすなどといわれていたが、極端な機械的振動のせいだとされていた。妊娠子宮は胃と同様、共振によって直接、機械的作用を受ける機序もあったが、プロスタグランジンE₂系の関与によって、子宮胎盤微小循環障害が生じ、結果的に胎盤機能不全となり、異常妊娠が引き起こされることから、情動ストレスとしての作用が大きいこ

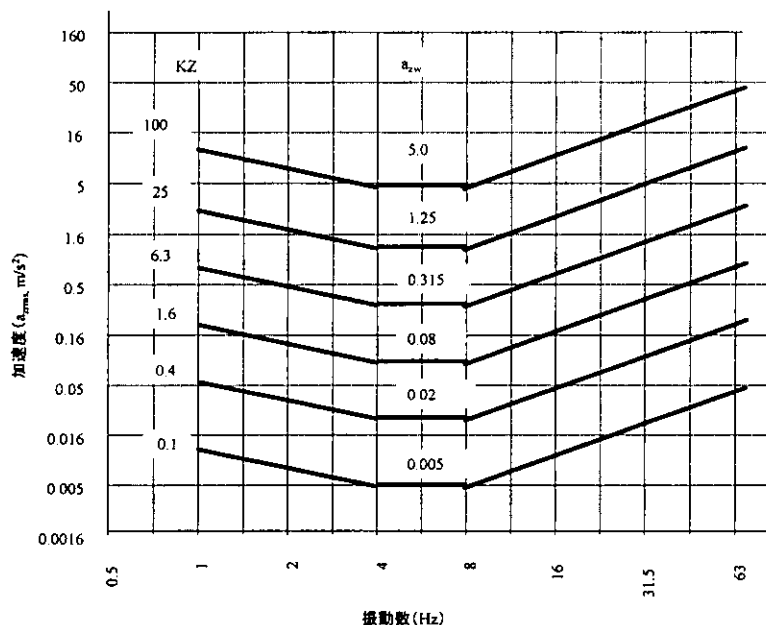


図6 Z方向(垂直方向)の周波数重み付け曲線(ISO 2631)

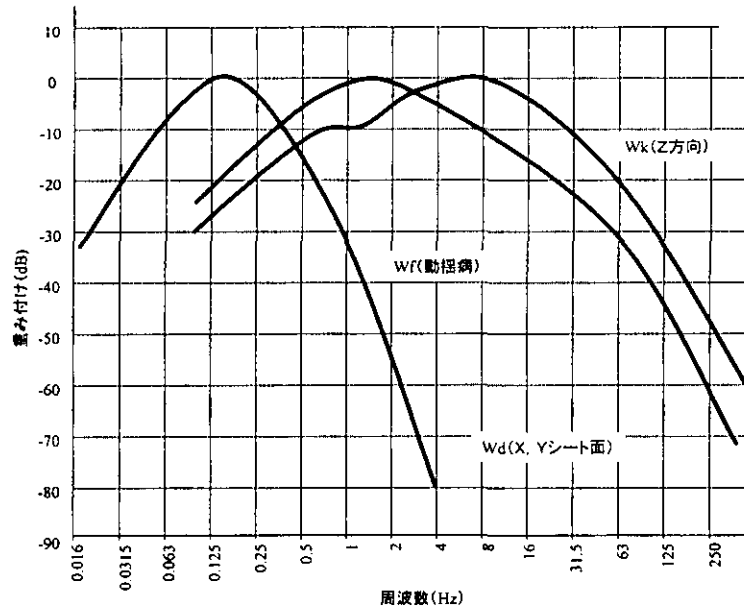


図7 新しくISOによって提唱されている周波数重み付け曲線 (revised ISO 2631)

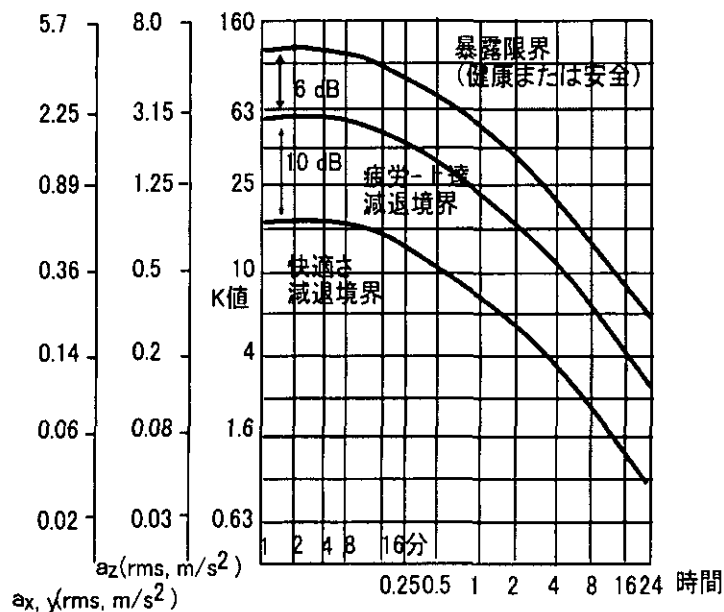


図8 重みづけした加速度rmsによる1日暴露時間の評価 (全身振動のガイドライン、ISO2631、DIN4150)

とが判明した”。いずれにおいても、このような生体影響が生じるのは、職場環境であって通常の生活環境ではあり得ない。

衝撃型全身振動の影響を調べる研究は昨今、大いに注目されている。それは、多くの研究結果が、現行のISO 2631の基準が衝撃型振動の影響を過小視しているという結果を導き出しているからである。Crest factor(振幅に対する衝撃の大きさ)が、6以下の場合に衝撃振動を非衝撃振動と同じように評価できるとした現

行の制度は、周波数で重み付けされたあとの加速度の4乗の積分の4乗根により与えられるVDV値にとって代わるかもしれない。

3. 振動の環境基準

環境省は、全国の都道府県等の報告に基づき、平成13年度における振動苦情の状況及び振動規制法の施行状況を取りまとめた(平成14年12月24日)。その概要は次のとおりである。

刺激	受容器	影響		
大	振動	物理的作用	急性	出血(肺・膀胱・心・肝・胃・腸)、内臓の圧迫・伸展・変位・下垂(胃下垂・腎下垂)、脊柱の変形異常、(流産)
			慢性	変形性脊椎症、脊椎骨折、胃潰瘍
		ストレス作用	直接的作用(急性)	眼球振とう、吐き気、血圧上昇、末梢血管収縮、発汗、消化機能減退、血糖上昇、好酸球数・好塩基球数・副腎アスコルビン酸・コルチコステロン・ゴナドトロピンなど内分泌系の変化、免疫機能低下、ビタミンA、Bなどの消費増大
			間接的作用(慢性)	胃潰瘍および十二指腸潰瘍、潰瘍性大腸炎、過敏性大腸、神経性嘔吐、本態性高血圧、神経性狭心症、過呼吸症候群、気管支喘息、悪性新生物 甲状腺機能亢進症、神経性食欲不振症、偏頭痛、筋緊張性頭痛、書痙、痙攣性斜傾、関節リウマチ、腰痛症、頸肩腕症候群、原発性緑内障、メニエール症候群、円形脱毛症、インポテンツ、更年期障害、心臓神経症、胃腸神経症、膀胱神経症、神経症、不眠症、自律神経失調症、神経症的抑うつ状態、反応性うつ病
		パフォーマンスへの影響		反応時間の延長、フリッカー値減少、両手協応・足圧恒常度・平衡状態・視認力・追跡作業・計算などの機能減退
小		住民反応	器物への影響(家具の破損、家屋・外壁のきれつ) 精神心理的影響、睡眠妨害、不快	

図9 全身振動による影響

(1) 振動苦情の状況

振動苦情の件数は、平成13年度は2,480件(前年度2,264件)で、前年度に比べ216件(約9.5%)増加した。苦情の主な発生源別内訳を見ると、建設作業が1,415件(全体の約57.1%)、工場・事業場が684件(約27.6%)、道路交通が244件(約9.8%)等であった。

(2) 振動規制法の施行状況

振動規制法に基づく規制地域を有する市区町村は、平成13年度末現在、全国の市区町村の約52.5%に当たる1,704市区町村(対前年度4市1町増加)であった。同法に基づき届出された規制対象の工場・事業場(特定工場等)の総数は平成13年度末現在で全国122,078件(前年度121,432件)となっている。特定工場等に対する法に基づく立入検査は142件(前年度151件)行われた。この他、行政指導が158件(前年度162件)行われた。また同法に基づき届出された建設作業(特定建設作業)の総数は27,270件(前年度26,958件)となっている。特定建設作業に対して法に基づく立入検査は425件(前年度424件)行われた。この他、行政指導が471件(前年度457件)行われた。

(3) 振動基準

振動規制法があり、工場・建設作業・道路交通振動について「地域指定」と「規制基準」が定められている。指定は原則として、知事である。

4. 振動の騒音の複合影響

振動と騒音は、一方が単独で存在しているというより、むしろその共存が現実では普通であるにも拘らず、その複合影響を問題視するようになったのはそう古いことではない。現実の道路に面する場所での複合影響を見たNakamuraら⁸⁾の研究結果を図10に示した。明らかにパフォーマンスへの影響は騒音と振動の相加作用として認められた。したがって、現行の生活環境における騒音と振動レベルがともに基準以内であっても、その相加作用によってパフォーマンスへの影響が生じることもありうるが、騒音、振動のそれぞれの項で述べた通り、職域でのレベルによる慢性影響があったとしても、通常的生活環境レベルでの複合曝露によって生活環境で障害が生じる可能性は極めて低いと考えられる。

responses to noise and vibration. Arch Complex Environ Studies 2 : 25-32, 1990.

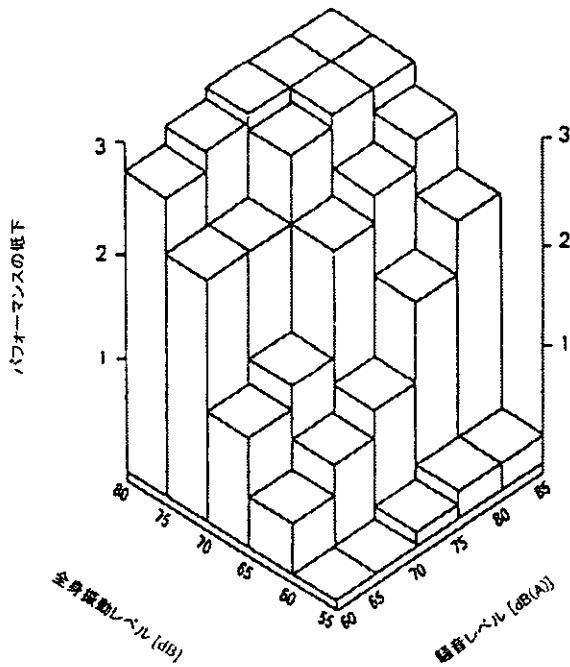


図10 騒音と振動のパフォーマンスへの複合影響

C. 参考文献

- 1) 岡田 晃：騒音・振動と健康. 臨床医 4 : 136-140, 1978.
- 2) 中村裕之：物理的環境刺激と精神生物学. 日衛誌 47 : 785-797, 1992.
- 3) 小森谷豊：低周波空気振動の睡眠影響に関する実験的研究. 十全医会誌 96 : 439-447, 1987.
- 4) Tsunekawa S, Kajikawa Y, Nohara S, Ariizumi M, Okada A : Study on the perceptible level for infrasound. Journal of Sound and Vibration 112 () : 15-22, 1987.
- 5) Magid EB, Coermann R : The reaction of the human body to extreme vibration. Proc Inst Environ Sci 135 : 38-50, 1960.
- 6) Nakamura H, Katoh A, Nohara S, Nakamura H, Okada A : Experimental studies on the pathogenesis of the gastric mucosal lesions induced by whole-body vibration. Environ Res 58 : 220-229, 1992.
- 7) Nakamura H, Ohsu W, Nagase H, Okazawa T, Yoshida M, Okada A : Uterine circulatory dysfunction induced by whole-body vibration and its endocrine pathogenesis in the pregnant rat. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 72 : 292-296, 1996.
- 8) Nakamura H, Nohara S, Nakamura H, Kajikawa Y, Okada A : Field studies on subjective

皮膚の生体防衛と外的刺激

菊地克子、田上八朗

東北大学皮膚科

A. 皮膚の構造と生理機能

1. 角層と皮膚のバリア機能

皮膚は生体と外界との間に存在する臓器で、外界の刺激や変化から生体を守って、なるべく生体内を一定の状態に保って生命活動が営われるように機能している。皮膚の最外層に位置する角層と呼ばれる厚さ20 μm程の膜が、皮膚の障壁(バリア)としての機能のうち物理的バリアとして働いている。角層は角化細胞(ケラチノサイト)の最終段階に分化したものが積み重なって膜状をなしたもので、体内の水分が失われて身体がひからびてしまわないように、また外界からの刺激物質、ハプテン、環境抗原、そして細菌や真菌などの病原性のある微生物が体内に侵入しないように、内から外、外から内へのバリアとして機能している。

皮膚は外層の表皮と内層の真皮という構造からなる。表皮は真皮側から、基底層、有棘層、顆粒層、透明層、角層という4つの層から構成される。表皮にはそのほとんどを占める角化細胞とともに、免疫担当細胞であるランゲルハンス細胞、色素産生細胞であるメラノサイトなどが存在する。角化細胞は表皮の最下層の基底膜から、分裂し次第に分化しながら上方に移動し、最終的に核を失い、角層内で角層細胞(コルネオサイト)となる。角層の表面からは日々一層ずつ垢として角層細胞がはがれ落ち、その代わりに新しい角層細胞が角層に供給される。通常であれば、基底層から角層に至るまで約28日間、角層を通過するのに約14日間を要する。このように、角化細胞は、最終的に生体にとって重要なバリア膜である角層を作るために分化してゆくわけであるが、炎症の起こった状態などで表皮の増殖が盛んになり皮膚のターンオーバーの亢進した状態では、角化細胞が角層に至るまでに十分な時間がないために、分化が十分に進まず、バリア膜として不完全な角層ができてしまう。角層細胞の細胞膜とその内側にはcornified envelope(CE)と呼ばれる強固な蛋白構造が存在する。角層細胞間には、セラミド、遊離脂肪酸、コレステロールなどの脂質が存在し、CEと緊密に結びつく一方、ラメラ構造を形成する。角層細胞をブロック、細胞間脂質をモルタルに例える、EliasのBlock and Mortar Model¹⁾は、この角層がブロック塀のように強固な構造をしていることをわかりやすく示すものである。

2. 角層の保湿機能

(1)角層水分含有量低下と乾皮症

乾皮症(皮膚が乾燥している状態)は、角層の水分含有量が低下している状態である。角層は、その内側が生命活動のある表皮に接し、外側が乾燥した大気に接しているため、角層中に含まれる水分は内面ほど多いという濃度勾配を有している。角層中には、遊離アミノ酸、尿酸、乳酸などの天然保湿因子が含まれ、それらが水分と結びつく。適量の水分を含有した角層は柔軟な性状を保ち、身体が動くときにも、その動きにシなやかに沿うことができる。しかし、病的な角層は、角層自体が厚くなるため、下面から拡散してくる水分が角層表面では非常に少なくなったり、天然保湿因子の減少などにより水分を保持する機能が低下するので、角層の柔軟性が失われ、皮膚の表面に亀裂が入る場合がある。そのような皮膚では、亀裂部から容易に刺激物質が体内に入り得る。

(2)老人性乾皮症と貨幣状湿疹

高齢者では、角層自体が厚くなっていることに加え、天然保湿因子が減少しているため、角層水分含有量が低下し、空気の乾燥する冬には、老人性乾皮症という状態になっているが、皮膚のバリア能は若年者と比べて劣っているわけではない²⁾。しかし、貨幣状湿疹という銭形の湿疹をつくってくる患者では、ダニなどの環境抗原に対しての皮膚反応の陽性率が湿疹のない人に比べて高い。これは、高分子の抗原が角層の亀裂から入り込んだ結果、後述するアレルギー性接触皮膚炎が成立していることを示唆している³⁾。

3. 毛と毛包

皮膚には、毛が存在し、毛は毛包に包まれて、真皮、あるいは皮下組織から皮膚内を斜走して皮表にいたる。頭皮、ひげ、眉毛、まつげ、腋毛、陰毛は、終毛といわれる硬い毛であり、それ以外の部分は、軟毛である。思春期以降、頭皮、顔面、胸や背の上部、腋窩、外陰部では脂腺が大きく発達する。特に、顔面では、毛が小さい一方、巨大な脂腺が毛包に開口しており、脂腺毛包といわれる。