

■第4回エコ改修検討会 講義録ー1

○藤原先生の講座:「温熱環境調査報告」

藤原環境科学研究所の藤原と申します。今回は温熱環境と同時に、電力消費量とかもとりましたのでそれも併せてご紹介したいと思います。

今回の改修のテーマというのは、室内環境の改善と省エネルギーという所にあると思います。室内環境に関しては、学校にはあまり音環境という問題はないかもしれませんが、「音の環境」「光の環境」「温熱環境」「空気質」、こういういわゆる室内環境を、できるだけ少ないエネルギーで、快適性を確保していく必要があります。

黒松内中学校の実測データをお見せする前に、「どんな環境が快適か」という指標をまずご説明し、また、「どんな環境基準があるのか」ということ、さらに環境基準が満足されたとしても、いわゆるクレームになるような「局所不快感というもの」がどういうものかというところをご説明してから、実際のデータを見ていただこうと思っています。また冬場の温熱環境ですので、暖房方式の簡単な説明と、今回の測定を行った課題と対応ということでまとめたいと思います。

【1. 熱的快適環境】

まず、熱的な快適環境です。人間の温熱感を支配している、温熱環境の6要素というのがあります。人体側では、「着衣量」これは断熱材の役目を果たします。それと熱を発する「活動量」これらが人体側の2つの要素です。周囲の環境側の要素としては「空気温度」、この間斉藤先生の講座にもありました日射が当たると暑く感じたり、風が吹くと寒く感じる「放射温度」と「気流」、それから「湿度」の4要素です。湿度なんかは、海外に行くと湿度が低いので同じ温度でもあまり暑く感じなかったりします。日本のように湿度が高いと、空気のエネルギーが高くなりますので暑く感じるわけです。とにかくこの6つの要素が人

間の温熱感を支配していると言われていきます。この6つの要素を全部つかった温熱指標というものの一つに、PMVと言われていたものがあります。デンマーク工科大学のファンガーさんという人がつくった指標です。これはデンマークで非常に多くの人を被験者にして、色んな環境においてどんな風に感じるかということを経験し、出した値です。ISOでは「快適範囲」というのを、 -0.5 から $+0.5$ の範囲としています。プラス側が暑い、マイナス側が寒いという指標になります。人間の感覚というのはみんな同じように感じるわけではないので、たとえばこのPMVが0の一番快適とされている所でも、5%の人が快適ではないとされていると言われていきます。ですからISOの規格は大体一割位の人間が文句を言うという状態を快適値としているわけです。これが国際的にもよく使われている指標です。

もうひとつは、アメリカでSETスターというのがあるのですが、これは夏と冬とでこれ位の範囲に入っておけば快適であるという指標があります。これは日本では、あまり一般的には使われておりませんが、これら二つが先ほど言った6要素を使った「温熱指標」になります。

【2. 室内環境基準】

では、次にどんな室内環境基準があるかということ、「学校環境衛生の基準」というのがあります。これは学校環境を衛生的に維持するためのガイドラインで、文科省で出しているものです。もうひとつは皆さんご存じの「建築物の衛生的環境の確保に関する法律」、いわゆる「ビル管法」です。これは特定建築物で、学校の場合は $8,000\text{ m}^2$ 以上のもの、それ以下のものは、先程の「学校環境衛生の基準」が適用になります。それ以外は病院とかは除きますが、 $3,000\text{ m}^2$ 以上の建物に適用される基準になります。

す。専門学校など学校法上の学校でないものはこちらのビル管法の適用になります。

この二つの基準には色々違いがあります。(資料参照) どんな基準かという、温度ではビル管法では17℃以上28℃以下にしなければということ。ビル管法の対象となる建物は、中央式空気調和設備を持っているもので、なんでこんな基準があるかという、中にいる人が勝手に換気扇を動かしたり、暖房機を動かしたりできない状況にありますので、一定の基準を満足しておきなさいというためにあります。湿度では40%以上70%以下、気流も0.5m/秒以下、二酸化炭素が1,000ppm以下、一酸化炭素が10ppm以下で、浮遊粉塵が0.15mg/m³以下です。ビル管法では年に2回か、3回は監督官庁、市役所とかに報告をします。たとえば二酸化炭素の量などが増えると改善しなければと指導されます。そういう意味で強制力は若干あるということです。それに対して「学校環境衛生の基準」(資料参照)の温度は冬期は10℃以上、夏期は30℃以下であることが望ましい、湿度、気流、二酸化炭素についても「望ましい」と言う表現をつかっていて、実際の強制力は、ないと思います。とにかく、こういう室内環境基準というのがあって、これを満たすことがまず条件になってくると思います。

【3. 局所不快感】

学校の場合は、本州ですと暖房設備も殆どないわけですから当然この環境基準もほとんど守られていないということです。また、この基準が守られて入れば快適かというところではなくて「局所不快感」というのがあります。たとえばPMVで0であったとしてもここに書いてあるような要素があれば、総合評価では快適であったとしても、不快を感じるということがあります。これは局所の温冷感による不快が存在するということです。その要素としては、不均一放射、ドラフト、上下温度分布、床温度という4つが挙げられています。不均一放射というのは、温度が一定でない非常に冷たい壁とか暖かい壁とかそういったものが

混在する場合です。これが不均一放射の不満足者率になります(資料参照)。これで見ると暖かい壁とか冷たい天井には不満足感があまりないのに対し、冷たい壁とか、暖かい天井に対して不満足感が多いということがわかります。

次にドラフトですが、窓面から流れる気流、望まれない気流とも言われています。室内気流の許容限界値というのをDIN(ドイツの規格)で表すと、冬期は0.15m/s以下、夏の場合は0.25m/s以下です。こういう局所の気流というものには不快感を増すということになります。

室内の上下温度分布ですが、ISOでは床上10cmと、座ったときの頭の部分(床上110cmの部分)の温度差を3℃以内に収めることを推奨しています。床暖とかにしますと、こういう上下温度差はなくなるので、非常に快適になります。

床の温度ですが、ISOでは19℃～26℃を推奨しています。また、床暖房時は29℃以下にすることを推奨しています。

この4つが、仮に、室内が温熱指標の快適範囲にあったとしても、不快を感じる要素になると言われています。

【4. 温熱環境等実測調査報告】

これまでご説明したことを参考にして、実際の黒松内中学校の室内環境を見てもらえればと思います。

測定項目としては、

- ・各室の温湿度を10分間隔で連続測定。
- ・2階の普通教室で二酸化炭素濃度変動の連続測定。
- ・教室内の総合的な現況を評価するために
 - ・上下温度分布
 - ・グローブ温度(輻射環境を考慮した温度をとる)
 - ・水平温度分布
 - ・照度
 - ・気流

を計測器をもって教室内の6ヶ所の測定を行いました。

また、現状の建物の暖房特性をみるために暖房用の電力量、電灯コンセント、動力

といった電力消費量を測定しています。

実測地点ですが（資料参照）、温湿度の連続測定を行っているのは体育館で2点、1階は音楽室・理科室・視聴覚室・職員室・トイレ・廊下、2階は普通教室・図書室・廊下等その他外気も含め全部で計15点で測定しました。二酸化炭素連続測定は、2年生の普通教室（2B）と廊下を測定しました。うまくいけばこの教室の換気回数が出せるんじゃないかと思っています。それと総合的な室内環境を評価するための測定を、2階の普通教室2つと音楽室・美術室で行いました。

これは12月8日から1週間の温度変動です。下の方が外気です。12月13日から若干下がって、14日が -10°C を下回っています。上の黒いのが職員室の温度になります。白い四角が連なっているのが2階の1年生の教室です。これを見ると暖房が始まると同時に室温が上がってきて、大体 20°C から 25°C で推移しています。ただ、夜間暖房を切ると、寒い日は 10°C を切る日もあります。室温を保持するには、今の状況ではちょっと難しいと思います。

次に湿度です。暖房が入っていないときは温度が低いので、湿度が高くなりますが、暖房が入り始めると湿度が下がり始めるので、普通教室の湿度が 20% ～ 40% になっています。

これが特別教室です。これも朝方は 10°C を下回るような冷え込みがありますが、日中は 20°C 位まで上がっています。湿度も大体 20% ～ 40% 位ですので、若干低めという状況です。

これが廊下と、トイレ周りです。濃いのが1階のエントランスを入ったところの廊下です。大体 10°C 近辺です。2階の廊下がこの薄いラインになり、2階ということで少し温度が高くなります。この間にある便所は常に一定です。これは凍結防止も含めて一定の暖房が行われているためだと思います。それにしても 15°C を切っておりますので、若干寒い状況です。湿度は 30% ～ 50% 位で推移しています。

1日の温度変動を見ていただきます。細

いラインが2階の普通教室です。ここに関しては大体 10°C 近辺からわりとすぐに立ち上がってます。7時位に暖房が始められるのですが、普通教室で暖房が立ち上がるのに2時間位要しています。特別教室の中でも北側にあるこの音楽室は7時に暖房を入れても、室温が立ち上がるのが、大体お昼くらいまでかかっているようです。電気暖房は安全で非常に良いのですが、こういう「立ち上げる力」というのを考えるとちょっと難があるのですが、建物の断熱性がよくなれば、もう少し立ち上がりが早くなると思います。あるいは夜間に蓄熱する床暖房にしたりという色んな工夫で、朝の室温を確保することも考えられます。現状はこんな感じで、立ち上がり少し時間がかかっている状況と言うことです。

次に室内の空気質に関わる CO_2 濃度です。先程も見ても見たように、学校の場合だと $1,500\text{ppm}$ 以下であることが望ましいと言う規準がありますが、電気暖房の場合、外気を入れると寒くなりますので、廊下と教室の換気など、どうしても内々の換気に頼らざるを得ない状況にありますので、高いときは $3,000\text{ppm}$ くらいまで上がることもあります。これが、黒松内中学校だけの特性かというとなんかそうではなくて、このグラフは昭和51年度の札幌市の中学校での測定結果です。蒸気暖房でも高いときは $1,500\text{ppm}$ を超えていて、電気暖房だとこれが $3,000\text{ppm}$ を超えています。温風暖房も外気の導入を絞りますと $3,000\text{ppm}$ を超えています。このように学校というのは CO_2 濃度に関しては、かなり高い状況で変化します。これが直接生徒に害を及ぼすかというところでもないのですが、ひとつの指標としてはこういう状況であるということです。

室内の温度と湿度の関係を見て頂いたのですが、もう少し総合的に室内の温熱環境を評価しようということで、オフィスの室内環境の評価手法を応用してみました。オフィスの室内環境を総合的に評価する手法として「POEM-O」という、オフィスの居住評価という方法があります。これはアンケートなどもまとめてやるのですが、

今回は測定だけで行っています。音・光・熱・空気・空間の質について、簡易にかつ客観的・総合的に評価できる手法です。これを今回黒松内中学校について（音は抜いてありますが）調査しました。どんな形でやったかという、こんな風に教室で5点位の上下温度分布を測ったり、輻射環境を考慮したグローブ温度を測ったり、気流と照度も測っています。授業中、実際に生徒さんがいらっしやる中で行いました。これは一例で、普通教室です。この様に計6点で測定しています。その時の上下温度、グローブ温度、気流、湿度、照度という風にまとめてあります。

これをこのようなチャートにして評価できます。評価点は5点満点で評価します。2階、普通教室の3つのタイプと、1階の美術室、音楽室などの例です。

全体の評価としては、大体3点位なもので、バランスとしては上下温度分布が非常に悪いということですが、PMVは3点位です。

【上下温度分布】

上下温度分布の状況です。1番から6番というのが先程の色々な高さの番号です。床面は20℃位です。1.1mの所が25℃位で、5℃差あります。これは日射が入る前です。これに日射が入ってくるとこの様に水平の温度分布がかなり広がってきます。1.1mの温度も上がってきますので、上下温度分布自体も広がってきます。日射が入りますと「暑い」ということでドアを開けたり、カーテンをするということによって、温度は下がるのですが、ドアを開けたことによって、廊下の冷たい空気が足元を走り、上下温度分布がさらに大きくなっています。これを防ぐには、やはり廊下の冷たい空気暖める必要があります。それには断熱性や気密性を上げていく必要があると思います。

【系統別電力使用量測定】

次に、系統別の電力消費量の測定結果です。

これは暖房用の電力量ですが、ピークで200kWh位です。暖房の負荷自体は通常一度立ち上がりますと、4割から5割位まで落ちるのですが、ここの場合は室温が立ち上がっていませんので、ピークが続いています。単位面積当たりの消費電力量はピークで60kWhです。平均は、だいたい55kWh位でしょうか。これが現状の最大暖房負荷と考えられると思います。ちなみにヒーター容量を全床面積で割りますと86kWhですので、7、8割の稼働状況になるかと思いません。通常学校の暖房負荷は140～160kWhくらいかと思われませんが、電気暖房の場合は、一般に低く抑えられています。

参考までに、電灯・コンセントの電力量です。単位面積当たり、ピークで20Wh/m²です。照明で10～15Wh/m²位かと思われしますので、残りがコンセントだと思います。

動力に関しては、浄化槽でするので殆どありません。

【5. 学校建築における暖房方式】

学校建築における暖房方式は、種類としては電気暖房、FF式温風暖房、高校でよく見られる蒸気暖房、あまり北海道では見られない温水パネル暖房、電気床暖房等が挙げられます。電気暖房は、安全性が非常に高いのですが、熱量が小さいために室温の立ち上がりが遅いとか、内一内の換気に頼るためCO₂濃度が高くなるとかが特徴としてあげられます。ただし、北海道のように断熱性、気密性が確保されている状態では、CO₂濃度はどんな方式をとっても、ちゃんとした換気をしない限り上がってしまうものだと思います。FF式暖房方式は個別制御には優れているのですが、その前に座っている生徒さんは暑いと言う状況かと思いません。蒸気暖房は立ち上がりが早いという特徴があるのですが、熱源に力がありすぎるので上下温度分布が大きくなります。一番快適性の良いのが温水パネル暖房になりますが、インシヤルコストの問題もあるかと思いません。

電気の床暖は安全性も高いのですが、一般的には、室温の制御が難しいと言うこと

があるかと思えます。

【6. 課題と対応（まとめとして）】

ちょっと早足だったのですが、今回データを見て、そこから課題を見てみますと、これは黒松内中学校に限った課題ではないのですが、やはり「上下温度分布が大きい」こと、これは局所不快の要因です。また「水平温度分布が大きい」、これは廊下の温度が低いことも関連すると思えます。また電気暖房の場合、やはり「室温の立ち上がりが遅い」ということもあげられると思えます。それと「換気の確保が必要」ということです。これはランニングコスト等、作り手だけじゃなくて、使い手も一緒に考えていかなければいけない課題だと思います。

これらの課題に対しての「対応」ということで考えてみますと、輻射環境、上下温度分布、水平温度分布の改善には「断熱性能と窓の熱的性能の向上、温水パネル暖房」ということがあげられると思えます。

また「日射遮蔽の工夫」ということもあるかと思えますが。南側教室の日射はかなり強くて、室温もかなり上昇します。そこで、南側教室の日射を北側教室で利用すれば、かなり省エネルギーにつながるのではないかなということですが。

それから、室内空気質のことを考えますと、「換気の確保」ということがあると思えます。それには省エネルギーな換気方法を工夫する必要があるのではないかと思えます。

以上が、現段階で実測から得られた情報です。ご清聴ありがとうございました。