

暖房時における教室内の空気の湿度について

0. はじめに

インフルエンザの季節です。空気が乾燥するとのどや鼻の粘膜の防御機能が低下するために、インフルエンザにかかりやすいと言われています。また、「暖房すると空気が乾燥する」という声も聞きます。そこで、暖房器具を使用したときの空気の湿度について考えてみました。

1. 相対湿度と絶対湿度

(1) 相対湿度

厚生労働省は、「インフルエンザの基礎知識」という冊子の中で、室内の湿度を50～60%に保つようにと指導しています。この場合の湿度は「相対湿度」のことで、

$$\text{相対湿度(\%)} = \frac{\text{空気が含んでいる水蒸気量}}{\text{その空気の飽和水蒸気量}} \times 100 \quad \dots\text{①}$$

という式で求めることができます。分母の「飽和水蒸気量(空気が含むことのできる水蒸気の最大量)」はその空気の温度により変化し、温度の上昇につれて飽和水蒸気量は増大します。たとえば、10℃における飽和水蒸気量は9.4g/m³、20℃では17.2g/m³になります。このことから、上記①式により、空気中の水蒸気量が変化しなければ温度が上昇するにつれて相対湿度は低くなることがわかります。

(2) 絶対湿度

上記のように相対湿度は温度により変化しますが、これに対して、温度に関係なく空気中の水蒸気量そのものを表す方法があります。これが絶対湿度です。

インフルエンザと湿度との関係についてはいろいろな報告があり、中でも、G.J.Happer という研究者の "Survival test with for viruses" という論文(1961年)が有名だそうです。その後、日本でも多くの研究が行われ、平成16年には秋田県衛生科学研究所の庄司眞医師による疫学調査研究が発表されています。これによれば、ウイルスの流行因子としては、温度や相対湿度ではなく絶対湿度が重要だということです。具体的な数値としては、空気1m³中の水蒸気の質量が11g 以下になるとインフルエンザが流行しやすいとされています。このような研究を受けて、いろいろな団体や個人が(インターネット上などで)「絶対湿度11g/m³以上を保つのがよい」と言い始めるようになり、現在ではこの数値が一人歩きしている状況です。ただ、厚生労働省はこのことについて明確に述べていません(つまり、肯定も否定もしていません)。

なお、この「絶対湿度11g/m³」を20℃における相対湿度に換算してみると

$$11 \div 17.2 \times 100 \approx 64\%$$

となります(ここで、20℃における飽和水蒸気量=17.2g/m³を用いています)。

2. プロパンの燃焼時における1時間あたりの水蒸気の発生量—加湿器との比較

(1) ガスストーブから発生する水蒸気量

暖房器具にはいろいろなタイプのものがありますが、ここではプロパンのガスストーブの場合について考えることにし、その他の暖房器具については後ほど検討したいと思います。

プロパン(C₃H₈)が燃焼するときの反応式は次のとおりです。



この反応式の係数(C₃H₈の前の1、H₂Oの前の4などの数値)は、これらの物質が反応するときの量的な関係

を表しています。化学では物質の量を mol という単位で表し、反応式②は、1mol のプロパンが燃焼するときには4mol の水(水蒸気)が発生することを示しています。mol の代わりに質量で表すこともできます。その場合は分子量を用いて、

プロパン44g(分子量44×1mol)が燃焼すると水が72g(分子量18×4mol)発生する …③
ということになります。

ところで、本校の教室で使用されているガストーブには、「0.39kg/h」という表示があります。これは、このガストーブが1時間あたり0.39kg(=390g)のプロパンを燃焼させることを示していますから、上記の③をもとにして計算すると、

$$1時間あたり(390 \div 44 \times 72 =) 638g$$

の水(水蒸気)が発生することになります。

(2) 加湿器から発生する水蒸気量

一方で、本校の教室で使用されている加湿器の使用説明書を調べてみると、加湿量として

強運転時：約700mL/h、 静音運転時：約300mL/h

とあります。平均すると、1時間あたり約500mLの水(水蒸気)が発生することになります。質量で表せば、

$$1時間あたり約500g$$

の発生量です。

(3) ガストーブは「加湿器」

上記(1)と(2)の結果を比べてみれば明らかなように、プロパンの燃焼時にはかなり大量の水蒸気が発生しており、プロパンのガストーブは「暖房器具」であると同時に「加湿器」でもあると言えます。

3. 教室内の空気中の、時間経過に伴う水蒸気量

次に、教室内でガストーブを使用したときに、時間経過に伴って教室内の水蒸気量がどのように変化するかを計算してみたいと思います。

教室の大きさを縦9m、横7.5m、高さを3m とすると、教室内の空気の体積は約200m³ となります。上記のように、教室のガストーブは1時間あたり638gの水を発生していますから、2時間ほど燃焼させると約1300gの発生量になり、これを教室内の空気1m³ あたりに換算してみると、約6.5g/m³ となります。

仮に、ストーブを使用する前の室温が10℃であったとします。10℃における飽和水蒸気量が9.4g/m³ であることから、この時点ですでに6g/m³ 程度の水蒸気が含まれていると仮定すれば、ガストーブを2時間ほど燃焼させたときの絶対湿度は(6+6.5≒)12g/m³ 程度になります。また、このときの室温が20℃になっているとすると、相対湿度は約70%になります。ただし、実際には途中で換気をしたり人の出入りがあったりして、これよりは低い値になるでしょうし、また一方で、教室には多くの生徒がいますから、その呼気に含まれる水蒸気も合わされると考えると、やはりかなりの水蒸気量(湿度)となります。

換気をしないまま、さらにストーブを燃焼し続けるとどうなるのでしょうか。燃焼開始から4時間もすると教室内の水蒸気量は20℃における飽和水蒸気量(17.2g/m³)を超えてしまうことになり、室温が20℃のままだとすると相対湿度が100%になってしまいます。湿度が100%を超える場合の水蒸気はどうなるのでしょうか。窓ガラスや壁などの温度の低い物体の表面で凝縮し、結露を生じることになります。

実際のところ、朝からストーブを使用し続けていた教室内に入るとき、4時限目あたりの授業のクラスでは「むっ」とする空気になっています。窓ガラスを見れば結露が生じています。80%以上の湿度になっているのではないかという感じです。

4. 他の暖房器具の場合

以上はプロパンのガスストーブの場合の話ですが、その他の暖房器具を使用するときにはどのようなのでしょうか。

(1) 石油ストーブ、石油ファンヒーター(燃焼ガスを室内に放出するタイプ)

灯油の成分は、1分子中に炭素原子を9～15個含む炭化水素(炭素と水素の化合物)が中心になっています。平均として炭素原子を12個含む $C_{12}H_{26}$ という分子から成っていると考えることにします。この分子の燃焼の反応式は



となり、この場合にも多量の水(水蒸気)が発生します。プロパンの燃焼熱=50MJ/kg、灯油の燃焼熱=37MJ/L、灯油の密度=0.80kg/L という値を用いて、プロパンと灯油の発熱量が同じ程度のときの水(水蒸気)の発生量を計算してみると、次のようになります。

「プロパンの燃焼熱=50MJ/kg」という値は、1kgのプロパンを燃焼させると50MJの熱が発生するということを示しています。また、「灯油の燃焼熱=37MJ/L、灯油の密度=0.80kg/L」をひとつにまとめると「灯油の燃焼熱=46.25MJ/kg」、つまり1kgの灯油を燃焼させると46.25MJの熱が発生するということになります。このことから、灯油を燃やして(1kgのプロパンと同じ発熱量の)50MJの熱を発生させるためには1.08kgの灯油が必要だという計算になります。

②式から、1kgのプロパンが燃焼すると

$$1000 \div 44 \times 4 \times 18 = 1636g$$

の水が発生することがわかります(1kg=1000g、44はプロパンの分子量、4は②式の H_2O の係数、18は水の分子量)。同様にして、④式から、1.08kgの灯油が燃焼すると

$$1080 \div 170 \times 13 \times 18 = 1486g$$

の水が発生することがわかります(1.08kg=1080g、170は灯油 $C_{12}H_{26}$ の分子量、13は④式の H_2O の係数、18は水の分子量)。

以上のことから、プロパンと灯油を燃やして同じ程度の発熱量になるときに発生する水の量は、プロパンの方がやや多いものの、灯油もプロパンに負けないほどの水(水蒸気)を発生していることがわかります。すなわち、石油ストーブもまた「暖房器具」であると同時に「加湿器」なのです。

(2) エアコン、電気ストーブ、オイルヒーター

これらの暖房器具はまったく水蒸気を発生しませんから、**1**の(1)で説明しましたように、気温の上昇に伴って相対湿度は下がることになります。「加湿器を使用しましょう」と言われる所以です。

(3) 据付型石油ストーブ(FFヒーター。壁に穴を開け、パイプを通して燃焼ガスを室外に排出するタイプ)

このタイプのストーブは、生じた燃焼ガスを排気ガスとしてすべて室外に排出しますから、石油ストーブでありながら室内の空気が汚れないという特徴があります。しかし、燃焼によって生じた水蒸気も含めてすべて室外に排出してしまうので、エアコンや電気ストーブの場合と同じく室内の空気中の水分は増えることがあります。したがって、この場合にも「加湿器を使用しましょう」ということになります。

5. おわりに

具体的な計算をするまでは、漠然と「プロパンは燃焼するとたくさんのお水を出す」という程度にしか認識していなかったのですが、実際に計算をして具体的な数値を出してみると、「漠然」が「はっきり」になり、なんだか「すっきり」した気分になりました。