

放射の調整と住まいの環境デザイン

宿谷 昌則（東京都市大学名誉教授 / LEXSdesign 研究室）

※本稿は令和2年度第2回交流セミナー（2021年2月16日開催）の講演内容を元に構成されています。

0. はじめに

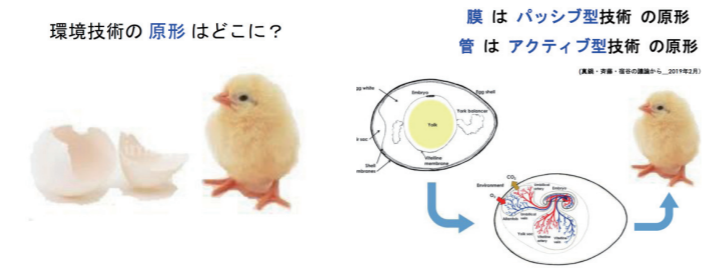
私は建築環境学を専門にしていますが、熱力学の概念であるエクセルギーを使って、関連する現象の読み解きをやっています。今日、皆さんにお伝えしたいこと、そのキーワードは「放射」です。放射とは光、そして電磁波と同じことですが、今日お話しするのはそのなかでも長波長放射です。皆さんは、焼肉屋さんで熱い鉄板を目の前にすると、火照りを感じる、或いは炎天下を歩いていると熱くなった道路や壁面から火照りを感じるがあると思います。それから、冬であれば床暖房で温まった床から温もりを感じる、それらは皆、放射の効果です。この効果がとても重要だということを、今までの研究で、定量的に明らかにしてきました。

私たちは一日のうち、90%を越える時間を建物の中で過ごしています。ですから、その環境を良好にすることはとても大切です。ところが、意外と見過ごされて、今日まで来てしまっています。では何が問題で、どうしていくのがよいのか。それが今日お話ししたいことです。皆さんが関わっている団体の名前にも「環境」とありますが、「環境」の定義はわかっているようで意外とわかっていないところがある。私は、この図に書いてあるとおり、「ある注目する主体があって、それを囲んで存在するモノとそこで起きているコトが環境である」と捉えています。私たちがテーマとしているのは「人にとっての住まい」。それは、人が主体であって、人を取り囲んでいる天井や壁・床といったもの、それから、空気があり水蒸気があります。これらに関連して、光とか熱とか湿度・空気のふるまいがあります。光や熱に対して人間がどう反応するか、それによって、化石燃料を使うのか、それとも自然のポテンシャルを活かすのか、そういったことが決まってくる。これらのことをどう読んでいくか、見ていくかを基本に立ち戻って考えてみましょう。

1. 建築環境学“外”論

私たちの研究分野は、建築学では環境工学と言われますけれど、私はそれを、工学的な事だけではなく、もう少し広く捉えようと「建築環境学」と呼ぶことにしています。例えば、エネルギー問題を扱うとして、物理学が明らかにしたところによれば、エネルギーは保存されます。エネルギーは保存されることが最重要な概念なのに、どうしてそれが「エネルギー消費」されるのか。

実は、熱力学の分野には「エクセルギー概念」というのがありまして、それを使うと消費とは何かをきちんと説明できます。暖房・冷房・照明・換気といったシステムがどう成り立っているのか、それをエクセルギー概念を用いて読み解けば、環境デザインとして、どういう仕組みを構築すればよいのかが明らかになってくるはずだと考えて仕事をして参りました。建築環境学に熱力学を取り入れている人は少ないので、私は勝手に建築環境学“外”論と呼んでいます。「環境工学」とか「建築環境学」とかのフィールド内からだけ物を見るのではなく、外からも物を見ることによって問題の本質に迫ろうというわけです。「環境技術」の姿や仕組みを明らかにしたいと考えて、私は今までいろいろな対象について考えてきましたが、そのなかで、技術の原型は自然界の中にあると思うようになりました。



ひよこは卵から生まれます。それで卵の構造はどうなっているのかというと、真ん中に黄身があって、その周りを白身が包んでいる。受精卵の場合には、母親が32~33℃の環境の中で温めていくと、卵の中で細胞分裂が始まって、いろいろ活動するので、それ自体の温度は37~38℃になる。そして20日くらい経つとひよこになって生まれてきます。ひよこになる大元の受精卵はEmbryo（杯）と呼ばれます。黄身の端にある黒っぽい染み状に見えるのが胚で、これが抱卵開始から数日後には動脈と静脈の血管系が生まれて、これを使って黄身の方から栄養分を摂る。それから、身体が育っていくと、呼吸をするので、二酸化炭素も出てくる、そうしたものを血液に乗せて、実は、殻を通して外へ捨てている。もう一方で酸素が必要になるわけですが、それは卵の中にはありませんので、殻を通して中に入れます。そうしたことをして20日経つとひよこになるわけです。殻は建築で言えば外皮、壁とか窓とかに相当します。それからどの建物でも必ず換気をして、水を取り入れて捨てていますけれど、それは、卵で言えば、ひよこが生まれるまでの間、殻の内側に構成される血管系に相当する。そうすると、私たちが議論している建築環境を構成するための技術の原形は、実はひよこが生まれるまでの間によく表れている。むしろ私たちが、技術、技術と呼んでいるのは、自然界がやってきたことを賢く真似て、環境がちゃんと作れるようにするということなのだと思います。環境をつくる技術には、パッシブ型の技術、アクティブ型の技術といった言い方があるかと思いますが、先ほどの卵では、膜がパッシブ型技術、管がアクティブ型の技術だと言えます。



石油などの燃料を使えなかった時代には、身近にある自然のポテンシャルをうまく利用していて、それが民家の形などによく表現されていましたが、石炭・石油・天然ガスなどの燃料を使うようになると、アクティブ型の技術へと依存が大きくなっていきました。行き過ぎて、地球環境問題・エネルギー問題が生じてきたということです。地球環境問題というのは余りに大きすぎるので、私たち一人ひとりの身体の問題から考えてみましょう。それからエネルギー問題は、エクセルギーという概念できちんと整理しましょう。そうすると「放射を活かす」ということが、決定的に大事だということで、その基本は、実のところ、パッシブ型の技術にあることがわかってきます。建築環境の基本をパッシブ型の技術が作り、同時にそれを活かせるようにアクティブ型の技術を作っていくかなければならない。そういうことです。このように考えてくると、まだやらなければいけないことが、とてもたくさんあると私は認識しています。地球環境問題では、CO₂の排出削減など中心的なテーマとして扱われてきましたが、根本的な科学のあり方とか、本来、技術はどうあるべきなのか、ということを考えなければいけないと私は思っています。哲学的な話にもなってくるのですが、ここに2枚の漫画(図1)を示します。左の絵は、技術が発達して、人間が技術に振り回されていることを示しています。

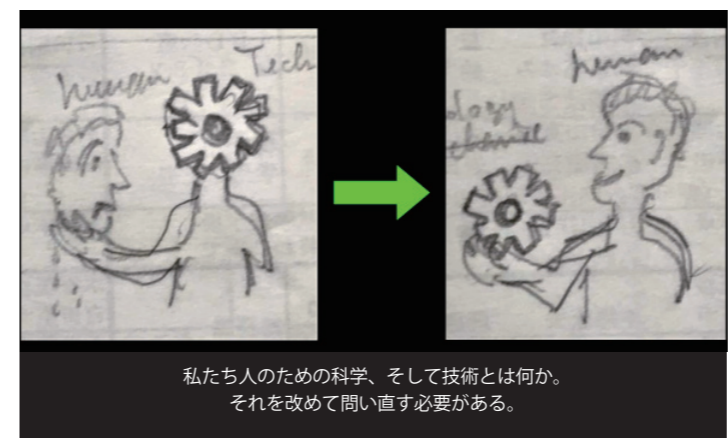


図1/ 科学・技術と人間

本来は私たちが技術を手にとってちゃんと扱えなければいけないのですが、まだまだ左の状態が続いていて、これを右の状態にしておくことを考えていかなければならない。その元になるべき科学のあり方をきちんと考えていかなければならない。それが大切だと思っています。

図2を私は「環境の入れ子構造」と呼んでいます。熱力学を勉強して環境を読み解いていき、何がわかったかという、私たちの身体でも建築環境でも、資源性のあるエネルギーを持つ物質が取り込まれ、維持されるべき状態が保ち続けられるように物理的・化学的な現象が起きて、その結果として廃熱と廃物が生まれ、それを外に捨て続けることがあって成り立っていることです。私たちの身体だけでなく、建築の一部屋も全体も、都市も地域も、地球だって実はそうなっています。

お日様の光が入ってきて、太陽エネルギーの利用が重要ということは、皆さんご存知の通りですが、それは入ってくる方の話であって、入ってくる方を考えたら必ず出ていく方も一緒に考えなければなりません。出ていく側の最終的な行き所は、実は宇宙空間で、その温度は-270℃です。

そのなかで地球は、太陽からの光のほかに、宇宙線（例えばオーロラの発生に関わっているもの、銀河系の遠い星からくるもの）の影響を受けて、雲が生成・消滅を繰り返しています。そうしたことが微妙に絡み合って、ダイナミックに活動しています。その結果、北極から赤道・南極までの地球表面の全体は、年間平均15℃くらいに保たれるようになっています。そういう中に、先ほど申し上げたニワトリのひよこが生まれる…といったことが起きようになっているし、自然界の中で、長い進化の歴史があって、その中の一部として私たち人間もいる。このような文脈で考えていくと、建築の環境の作り方にもつながるべき答えが見えてくるだろうと思っています。図3を見てください。太陽の光は電磁波です。その波長ごとにどのくらいのエネルギーがあるかを図にしたのが左上のグラフです。波長が0.5μmぐらいのところが一番強く、短い方は0.3μmぐらいから、長い方は3.0μm、私たちの目を感じる範囲は0.4~0.8μmです。人の身体は地球上で進化してきたので、私たちの目は、太陽の光にうまく合うように進化してきたのだと言えるでしょう。

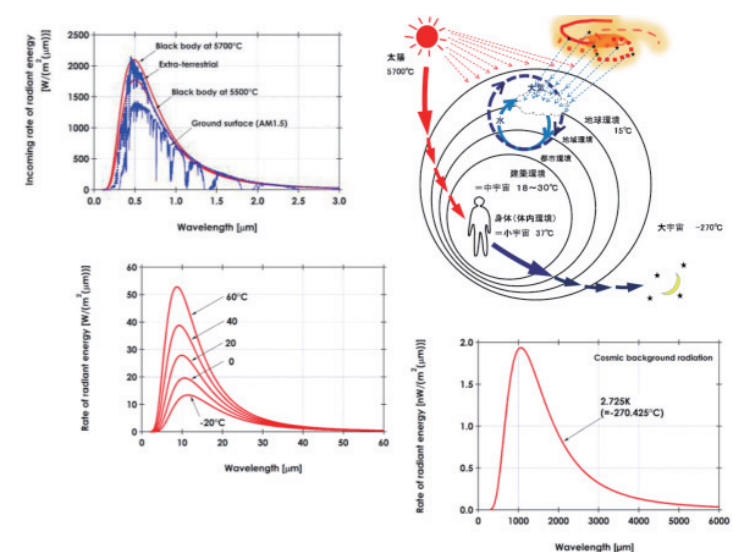


図3/ 地球環境・建築環境システムと放射

図3中の右下のグラフは、-270℃の宇宙空間に充満している放射です。波長がとて長く、放射のピーク値は1000 μmあたりに現れています。これは、プランクの放射式に基づく理論計算値ですが、NASAなどが飛ばしたロケットで測定した値はこの理論値とぴったり合っており、プランクの式の正しさが確認されています。

左下のグラフは建築環境空間にある長波長放射で、3.0 μmから60 μmくらいの波長の放射です。-20~60℃のいずれの温度でもピークは10 μm前後です。私たちが感じる温かさや冷たさをもたらすのは、この長波長放射の振る舞いによります。

2. 建築環境はからだの延長

身体のことを知ると、実は建築環境は身体の延長と言えることがわかります。人は一生のうち毎日毎日の90%以上を建築の中で暮らして、仮に人生百年とすると、90年以上は建築の環境の中にいることとなります。

環境共生という観点から、他の動物や植物とヒトがどのように関係しているのかを知っておくことはとても大切だと思います。

図4は、E.ヘッケルという人（ドイツ・オーストリア帝国時代の生物学者）が1880年頃に書いた「人の進化」と呼ばれる本に描かれている図です。DNAの構造が発見される80年前に書かれたものです。ヘッケルは、ヒトと他の動物も共通性があると言ったのです。ヒトでも亀でも魚でも、DNAが遺伝情報を持っていて、その中身はそれぞれに違うけれども、物質としては全く同じです。このことは今では常識ですが、そういったことを予言したのがヘッケルです。

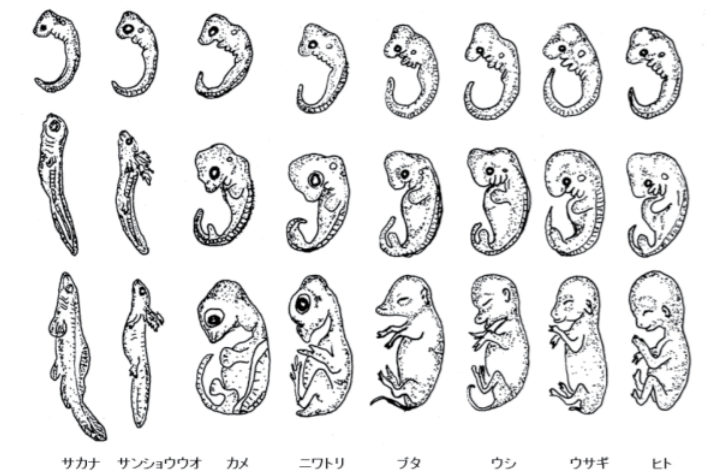


図4/ 個体発生と比較 (E.ヘッケル原図, 柳沢桂子による模写)

ヘッケルという人は、エコロジーという言葉を作った人でもありません。生物は、菌類・植物・動物などの全体として成り立っていて、それを生態系(エコシステム)と言います。その中のどれかがいなくなると系全体がだめになることもありうるので、そういったことをちゃんと学問として見ていかなければならないとヘッケルは考えて、エコロジーという言葉を作ったのです。

私たちの身体がどのように成り立っているのかの基本を知っておこうということで、内臓と皮膚、それから神経系の関係を図5に示します。私たちの身体も、先ほどのひよこ同様に受精卵から始まりますが、胎内で数日が経ったときには、内胚葉・中胚葉・外胚葉と呼ばれる三つの部分で構成されています。外胚葉の端に凹みができる、凹みは反対側で突き抜けていき管ができます。管の先が私たちの口に相当します。最初に凹んだところが肛門にあたります。栄養分を摂るために食べ物を入れて排泄する、そういう道筋を私たちは胎内にいる間につくるのです。もっとも外側にある細胞群が神経にな

り皮膚になり、内側は食道・胃袋・小腸・大腸に、これら以外のところが骨・筋肉・血管になります。

建築環境との関係でいえば、神経系が働いて、温かい・涼しいを知覚しますが、それは神経系の働きによります。神経系がどうなっているかという、中枢神経(脳と脊髄へ)と末梢神経(脳から目や耳、脊髄から皮膚へ)でできています。

それらが建築の環境と繋がっています。目で光、耳で音、鼻で嗅い、さらに皮膚で温かさや冷たさを感じています。神経は内臓にも張り出していて、それは自律神経系を構成しています。私たちの身体は、皮膚の外側で建築環境に囲まれています。脳から見ると、内臓・皮膚も環境の一部で、それらは体内環境と呼ばれます。以上をダイアグラムとして表現したのが図6です。

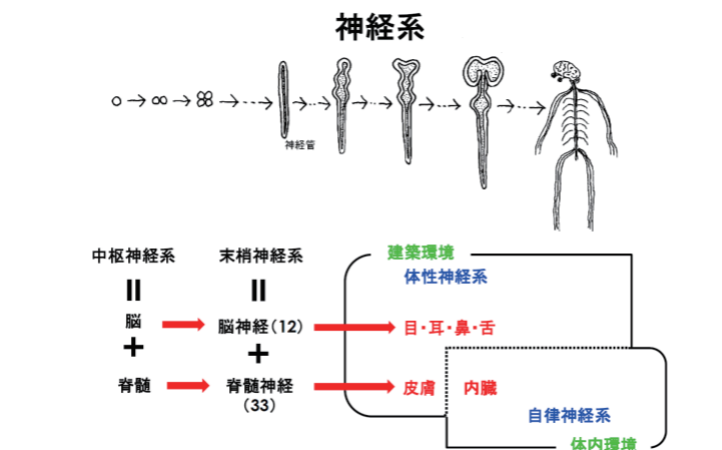


図5/ 人体の成り立ち

温覚・冷覚神経では、冷覚神経の末端の方が、温覚神経よりも皮膚に近いところにあります。それから神経の数かなり違って、冷覚の方が数として圧倒的に多い。どうしてそうなっているのかはよくわかっていません。だいたい3万年~5万年くらい前の氷河時代に、現代人と同じ骨格を持った人類が現れたということですので、おそらく人類は冷たさに対して神経を尖らせて進化してきたのではないかと想像しています。

私たちは、暑いとか寒いとかを皮膚で感じ取っていますが、仮にその皮膚を削り取ったとすると、全体で1,400gほどになります。脳も1,400gで、だいたい同じ重さです。私たちが何かを考えるのは頭の中ですから、起きて意識があるときだけ脳が働いているように思えますが、無意識中も働いています。それから感覚や知覚は、皮膚が大きな役割を担っていて、それがちゃんと機能していないと、意識は現れることができません。頭でっかちなどとよく言いますが、知覚・意識と体感とを切り離さないようにする。私は、このことがすごく重要だと思っています。

寒くて目がさめたという経験がある人は多いだろうと思います。これは生理現象として考えると、あり得ないことです。どうということかという、寝ている間の無意識のうちに皮膚の温度が下がってきて、寝ている場合じゃないと脳が無意識のうちに判断し目を覚ませ、それで意識が現れて、布団がずれていることに気が付く、といった順序だからです。

建築環境学は、脳が働いて、あれやこれやと考えることで成り立つわけですが、皆さんが環境共生住宅を、環境デザインとしてどうやっていこうかと考えを巡らすときは、建築環境学を成り立たせる理性和とともに、私たちが肌で直接に感じることに、要するに感性をも基本としておかなければならないと思います。

建築の世界では、空間デザインという言葉がしばしば出てくると思いますが、もうひとつは時間、例えばこの部屋が暑かったとして、どうして暑いという言葉が出てくるのかということ、少し前の時間に比べて温度が上がって、身体から放熱しにくくなったから暑いと感じ知覚する。これは過去と今とを比較しているのです。比較するのは、必ず過去に対してですから、時間を考慮したデザイン、「時間デザイン」も重要だと思います。

次に、エクセルギーの視点から、放射が重要だというお話をしますが、その前に人体からの放熱量がどれほどのものなのかを、皆さんに確認したいと思っています。

図7を見て下さい。私たちの身体の発熱量を体重で割った値をq humanとします。もうひとつ太陽も発熱しているの、太陽からの発熱量を重さで割った値をq sunとします。皆さんは、q humanとq sun、どちらが大きいと思いますか。五択で答えを用意しました。皆さん、どれが正解だと思われるでしょうか。

- 1.1/10,000
- 2.1/100
- 3.1/1 同じ
- 4.100倍
- 5.10,000倍 のどれか?

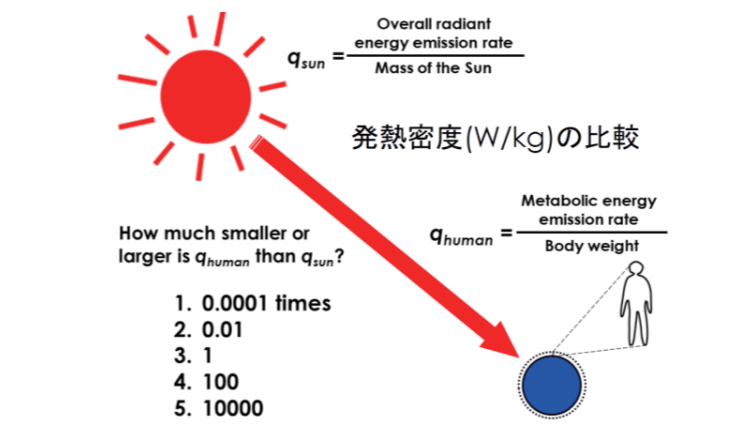


図7/ 発熱密度の比較

正解は5で、発熱密度は人の方が大きく、しかも太陽の10,000倍です。したがって人体は常に放熱する必要があります。人は37℃という体温を保って、そのなかで、体内の複雑な生化学反応がうまく働くようにできていて、その結果生まれる熱が大変な量だというのが、太陽の10,000倍という値なのです。

太陽と人間を比べるのはおかしなことと思われるかもしれませんが、私たちの身体は大変な発熱を伴うことで成り立っていることを認識しておくことは重要です。これだけの発熱密度ですから、下手をすると、とんでもない温度上昇になって燃えてしまうこともありえます。かといって低ければ良いかというと、体温が下がれば生化学反応が起こりにくくなり、免疫力が下がって病気になってしまいます。そういうわけで37℃を保つことは、決定的に重要なのです。そのため色々な生理現象が身体の中で絶えず起き、また、私たちは様々な行動します。

図8で、末梢血管の収縮・膨張から上は全て生理現象で、その下の行動とは、無意識的あるいは意識的に筋肉を動かすことで、生じる現象を指します。これらの全てが総合的に作用して37℃という体温が保たれます。

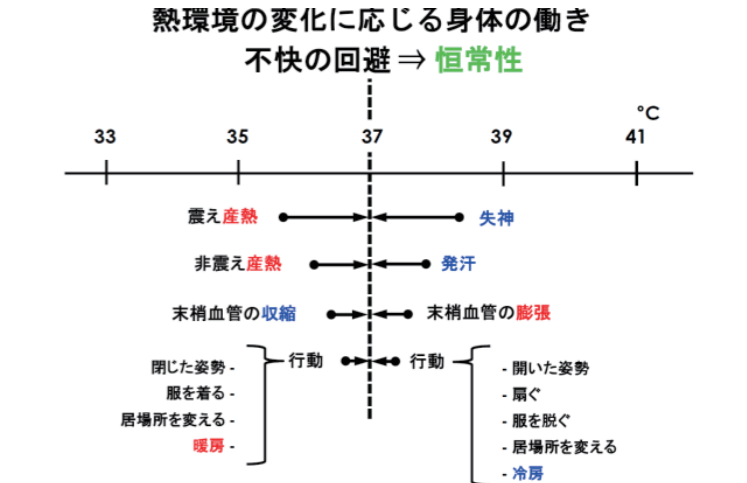


図8/ 熱環境の変化に応じる身体の働き

3. 放射エクセルギー(冬)

エクセルギーという言葉は、今日初めてお聞きになる方もおられるかもしれませんが、なかなかピンとこないかとも思いますが、今日の話で知っていただきたいと思います。

自然現象は必ず拡散が生じる。拡散を引き起こす能力がエクセルギー。拡散の前後で保存されるのがエネルギー。消費を定量化できるのがエクセルギー。

自然現象は必ず拡散が起きて生じていることです。熱が温度の高い方から低い方へ流れるのは、拡散の典型的な現象の一つです。もうひとつは、たとえば濡れていた洗濯物が乾く現象も典型的な拡散です。乾くというのは、液体だった水が水蒸気という気体になって空気の中に飛び散り広がっていく。これが乾くということです。これは水という物質の拡散です。

拡散を生じさせる能力がどのくらいあるのかをエクセルギーは示すことができ、色々な現象が起こるとそれが減る。消費ということを実際に定量化できるのはエクセルギーなのです。窓から部屋に入ってくる太陽光やランプの光による照明がどのようにして成り立っているか、換気はどのように成り立っているか、ヒートポンプがどんな仕組みなのか、それらは全てエクセルギーで説明できます。

私たちの身体では体温37℃を維持するためにエクセルギーが消費されています。今日は冬の室内環境とはどんな環境なのかをエクセルギーの観点からお話ししたいと思います。図9を見て下さい。横軸の「Mean radiant temperature (放射温度)」は天井・壁・床の表面温度の平均値、縦軸は人体のエクセルギー消費です。この数値の大小ですが、数値が大きめになると、身体に熱的なストレスが掛かっていると思っていただいたら良いと思います。右縦軸の空気温度は14℃~32℃までありますが、この軸は、図中の緑の点線に対応しています。例えば、私たちの身体は、座っている状態で100Wぐらいの熱エネルギーを生み出していますが、その100Wを身体から出していけば、ちょうどバランスしているわけで、暑くも寒くもなくちょうど良いはずだと言われてきました。これが緑の点線で示されています。緑の点線よりも右上は暑い側、放熱しにくい環境。緑の点線よりも左下は、放熱しすぎて寒い側です。というのが今までの理論で、これは実は、エネルギー概念だけに基いて分かることです。

例えば、横軸の放射温度15℃に対して、緑の点線は空気温度29℃が対応します。周壁の放射温度が25℃だとすると、それに対応する空気温度は19℃になります。15℃と29℃の組み合わせも、25℃

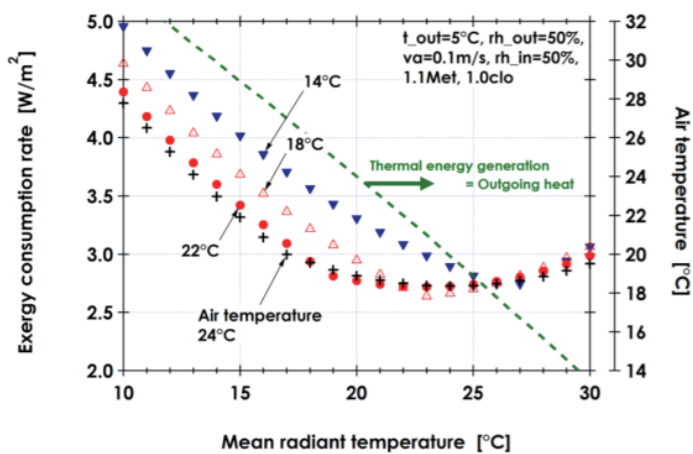


図9/ 放射温度と人体エクセルギー消費速さの関係 (冬)

と19°Cの組み合わせも、身体からの発熱量と放熱量はまったく同じです。エネルギー収支だけで考えると、図の緑の点線上であれば、どこでも同じ環境だということになってしまうのです。次に図9中の4種類のプロット群を見て頂きたいのですが、これは人体のエクセルギー消費速さを表現していて、プロットの違いは、空気の温度が14°C、18°C、22°C、24°Cの4種類を表しています。私は先にエクセルギー消費が大きいとストレスがかかっていると言いました。ということで、この値が小さいところを見ると22°C～23°Cくらいが最小となっています。ここでは△(白抜き)、赤丸、+印はみな似た様な値です。ということは、空気温度が22°Cでも24°Cでも18°Cでも、エクセルギー消費には差がない。14°Cだとさすがに違いますが、そんなに違わない。周壁の温度が高くなっていくと、エクセルギー消費が大きくなってきます。これは、なぜかという、周壁の温度が25°Cを越えるようになってくると、身体が汗ばんできます。汗ばんでくれば必ず蒸発が生じますので、皮膚の温度が少し下がる。そうするとエクセルギー消費が増えてくる。そういうわけで、冬には周壁の温度を22°C～23°Cにできれば、空気温度の調整には、それほど神経を使うことはないということなのです。

周壁の平均温度が高くなるということは、放射でエクセルギーがたくさん出ることを意味します。これは長波長放射のエクセルギーを、私たちの身体がたくさん浴びることです。

図10は、放射エクセルギーの値が表面温度に応じて(この図では外気温が0°Cの場合)にどれくらい変化するかを表しています。放射エクセルギーは、表面温度が上がっていくと、二次関数的に大きくなっていく性質があり、10°Cと15°Cとの差と、15°Cと20°Cとの

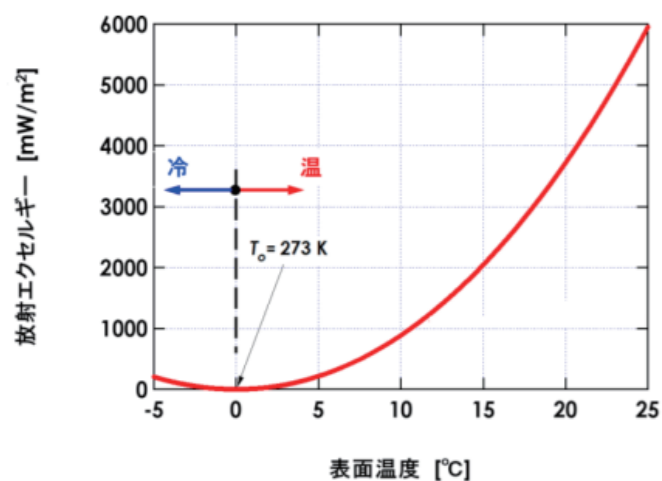


図10/ 放射エクセルギー (冬)

差とでは、かなり大きな違いになってきます。以下に示す放射エクセルギーの計算式にあるとおり、温度差の2乗で効いてきます。表面温度が少し上がると、周壁から放射エクセルギーをよりたくさん浴びることになるので、人体のエクセルギー消費は減るのです。

放射エクセルギーの計算式

$$X_r = \frac{hr (T_s - T_o)^2}{T_s + T_o}$$

hrは放射熱伝導率 [W/m²K]、Tsは表面温度 [K]、Toは外気温 [K]

図11は壁の断熱性の良し悪しが以上のことにどう関係するかを見たものです。内壁の表面温度は断熱性が低いと10°C、高いと18.6°Cとなっています。放射で出てくるエクセルギーがどれくらい違うかという、前者では234 mW/m²、後者では1700 mW/m²で、大雑把に言って断熱性が高くなると8倍くらい大きくなっています。このことが人体のエクセルギー消費を小さくしているのです。断熱性能の悪い家では、床の表面温度は15°C～16°Cくらいだと思いますが、例えば床暖房で床の表面温度を28°Cくらいに上げれば相当大きな放射を出すようになる。それが私たちの身体に温もりを感じさせることになり、ひいては、人体のエクセルギー消費を小さくすることになります。

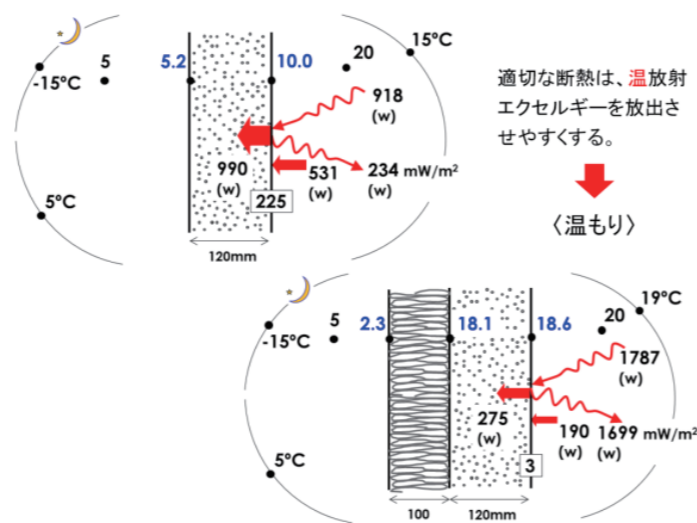


図11/ 建物の断熱と放射エクセルギー

建物の断熱は「建物の熱損失を減らし暖房負荷を減らす」・「化石燃料や電力の使用量を減らして、CO₂の排出量を減らす」という文脈で語られることが多いのですが、エクセルギー概念で壁についての放射の振る舞いを考えていくと、断熱性向上の本質が見えてくるということなのです。

断熱材を入れるということは、長波長放射のエクセルギーがたくさん出るように壁を設えることなのです。つまり、床暖房で床から出る放射を増やすのと同じように、断熱材をちゃんと壁に入ると、放射暖房用のシステムを、壁に備えるのと同様と解釈すべきなのです。

断熱性を上げるとか、日射遮蔽性能を上げるといったことは、熱負荷を減らすためと考えられがちですが、もう少し積極的な意味合いがあるのです。それは放射の調整を壁や窓にも担わせる。それは設備に他ならないということです。壁でそういうことができたのなら、それと整合性のある機械設備を、もう一度構築し直すことが重要になってくる。そういうことです。適切な断熱は、温放射エクセルギーを放出させやすくなる。それが私たちの温もり感覚とも繋がっているということでもあります。

4. 放射エクセルギー (夏)

夏のグラフ(図12)も、先の冬のグラフ(図9)と同様で、横軸の「Mean radiant temperature」は天井・壁・床の表面温度の平均値、縦軸が人体のエクセルギー消費速さです。緑の点線も、冬のグラフと同じで、人体の発熱エクセルギー量が人体からの放熱エクセルギー量とちょうど同じになる条件を示しています。エアコンで冷房して、空気温度は26°Cに保たれていると仮定しています。+、△、×、赤丸の4種類のプロットがあります。これらは風速(Va)が0.1m/s、0.3m/s、0.5m/s、0.8m/sの4種類に対応しています。

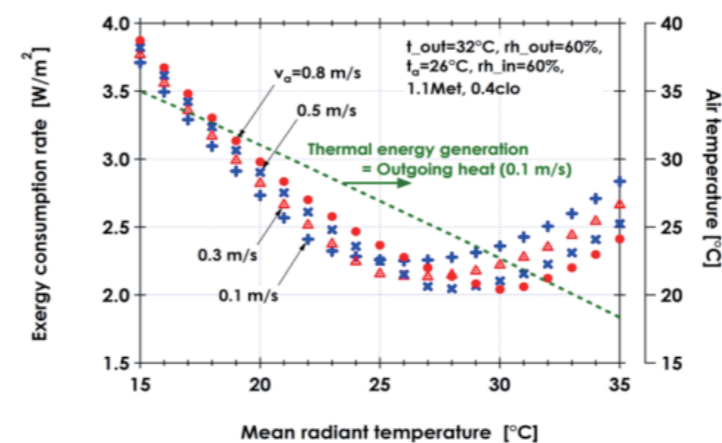
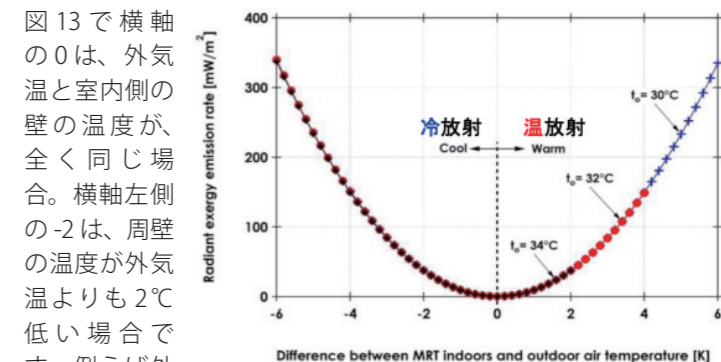


図12/ 放射温度と人体エクセルギー消費速さの関係 (夏・エアコン)

エアコンで冷房していて風速が0.8m/sというのは、エアコンの吹出口のすぐ側でもなければありえない強風です。エアコン冷房では0.1m/s以下でないと不快だろうと思います。風速0.1m/sで、エクセルギー消費がもっとも小さくなるのは、周壁の平均温度26°C前後です。したがって、空気の温度、周壁の温度が26°Cであれば、エクセルギー消費が最小になるというわけです。ところが住宅でもオフィスでも、壁や天井・床・窓など全体の平均表面温度を26°Cに保つというのは至難です。例えば窓の日除けとして、室内側のカーテンを閉めたとしても、その表面温度は35°Cを越えるのはよくあることで、周壁の平均温度を26°Cにするのは困難です。

そのような場合は、エアコンの設定温度を下げるか、扇風機を動かして気流が感じられるようにすることになります。例えば0.1m/sで周壁の温度が30°Cになったとすると、エクセルギー消費が少し大きくなります。しかし扇風機を動かして0.8m/sとか0.5m/sの風速にすれば、エクセルギー消費が小さくなります。室温が上がってくると、誰でも不快を避けたいと思って、団扇で扇いだり扇風機を回したり、あるいは設定温度を下げたりと色々なことをします。扇いだり扇風機を点けたりという行為は、生物学的・熱力学的に言うと、人体のエクセルギー消費速さを、無意識のうちに小さくしようとする行為です。もうひとつ、エアコンが無いけれども通風はできる状態で同じように計算してみると、30°Cを越えない範囲に周壁の放射温度を抑えておければ、どの風速でも、概ね満足できる値になることがわかってきています。冒頭で「焼肉屋さんの鉄板に火照りを感じる」という話をしましたが、その面が冷たいと、火照りの代わりに、ひんやりとした冷涼感を感じることができます。そのような放射を冷放射と言いますが、エクセルギーの概念を使うと、それが計算できます。



$$x_r \approx \frac{h_r (T_s - T_o)^2}{T_s + T_o}$$

図13/ 放射エクセルギー (夏)

冷放射とは何のことか、わかりにくいと思いますので、簡単な実験の例をお話しておきます。台所で使う金属のボウルに、氷の入ったコップを近づけてみます。コップの表面は冷やされて結露しています。そこからは放射が出ていてサーモグラフ画像では青く映ります。コップの表面が放った冷放射が反射しているのです。その時のボウルの温度は、(室温の)30°Cを少し越えるくらいです。ボウル自体の温度は低くありませんが、低温のコップが放った冷放射が反射されて、サーモグラフでは青く映っているのです。そういった冷放射を人体が浴びれば、冷たく感じることができます。冷放射が一番よく出る場所はどこかという、実は空です。夏に暑くてかなわないと思うのは、快晴で日射が強い日よりも、むしろ晴れてはいるけれども薄い雲で空が覆われているようなときです。こういう日は空の温度が外気温にかなり近づいています。真夏の快晴日では、空の温度は外気温が32～33°Cのときでも20～25°Cです。放射冷房で目指すべき温度は26～27°Cくらいです。ということは、天空は冷放射源として非常に重要だということを意味しています。(終)

宿谷 昌則 (しゅくや まさのり)

1953年 東京生まれ。
 東京都市大学名誉教授。LEXS design 研究室。工博(1983年早大大学院)。専門は「建築環境学」。
 住まい手たる人の振る舞いー感覚・知覚から意識・行動に至る一連のプロセスと、温める・冷やす・明るくする・きれいな空気を保つなどの建築環境調整の方法について、その在るべき姿を生物学と熱力学を融合した視点から研究している。
 関連して自然のポテンシャルを活かす人の自然な住まい方・暮らし方についての教育に携わる。
 著書に「Bio-Climatology for Built Environment, CRC Press, 2019」、「Exergy - Theory and applications in the built environment, Springer, 2013」、「エクセルギーと環境の理論、井上書院、2010年」など。
 2001年 日本建築学会賞 論文賞。
 2012年 日本建築学会賞 教育賞 (教育業績)。

