

木材保存

常務理事 今村 祐嗣

第1話

白太と赤身

木材には辺材（白太）と心材（赤身）とがあり、着色した中心部の心材に比べ、白っぽい辺材は腐りやすく虫にも食われやすいのはよく知られています。辺材では防腐や防虫に効果がある成分が乏しいこと、逆に菌や虫に好まれるデンプン質やタンパク質が存在することによります（写真1-1）。



写真1-1 辺材部分だけが腐った伐根部

ところで、ヒノキやヒバといった耐久性の高い木材の場合では、辺材も腐れにくく虫害にも強いように思われがちです。しかし、それは大きな間違いで、これらの樹種の耐久性が高いのはあくまで心材だけであって、辺材はどういった樹種でも長もちしないことを胆に銘じておく必要があります。次の写真1-2をご覧ください。屋外で使用した耐久性が高いヒバの部材ですが心材は残っているにもかかわらず、外側の辺材部分は腐っている様子



写真1-2 外構施設に利用されていたヒバの部材（辺材を含んでいた部材ではその部分だけが腐朽）

が見て取れます。

ここで木材の形成、生長を振り返ってみましょう。樹木は上に伸びるとともに幹は横に太っていきますが、この肥大成長は樹皮の下にある形成層という細胞群が分裂し、自分自身は外側に移動しながら内側に新しい組織をつくることによって起こります。この新しく形成された組織は樹種や樹齢によって異なるものの、ある年数を経ますと樹心に近い方から順番に着色してきます。これが心材化という現象です。

すなわち、樹木の幹の周辺部にある辺材では根から吸い上げた水分の通り道という大切な役割を担うとともに、樹木の生きていく上で必要な栄養分が多く、一方内部の心材では水分通導は起こらず、腐りにくくする成分や木の香りの元になる物質が蓄積しているとい

うことです。辺材が水分を通導するという
ことは、伐採されて木材となった後でも水分が
通りやすいことを意味しています。というこ
とは、それだけ水を吸いやすいということで、
これも腐れを促進する要因となっています。

心材の色は黄色～薄い褐色～濃い褐色が多
いですが、ピンク色（ヤマザクラ）、紫色（シ
タン）、黒色（コクタン）など様々です。エン
ジュやクワやイチイという木は辺材と心材
の濃淡の差がきわめて鮮やかで工芸品として
活用され、またケヤキも茶褐色の心材が尊ば
れて古くから建造物の柱や扉などに利用され
てきました。一方で、針葉樹ではモミ、トド
マツやエゾマツ、広葉樹ではブナ、シラカシ
のように心材の色が辺材と区別しにくい樹種
もあります。

スギは建築材として使用される木材の中で
は辺心材の区別が明瞭な樹種の一つですが、
心材の色は赤色～黒色まで多岐にわたります
（写真1-3）。また、よく見ると周辺の淡色の
辺材と内部の濃色の心材との間に白い帯状の
部分がうかがえると思います。このところは
移行材と呼ばれ、辺材から心材へ移り変わっ
ている部分と解釈されています。酒樽に利用
されるスギ板はこの辺心材の境界部を板目状
に取り、白太面を外側に、赤身側を内側にし
て組んでいきます（写真1-4）。そうすると、
樽の外見はきれいな白い板目が並び、お酒の
入った内側では木の香りが滲み出るといふ分



写真1-3 人工乾燥時に積み重ねられたスギ製材品の木口断面



写真1-4 樽材として利用されるスギ源平材の木取り

けです。白赤の板を源氏と平家の旗の色から
源平材と呼んでいます。

心材に蓄えられる成分、これを心材成分あ
るいは抽出成分と呼んでいます。普通の木
材では重さの割合で数パーセント含まれて
いるに過ぎません。心材成分の主要なものは
テルペンとかフェノールと呼ばれる物質で
すが、その種類はきわめて多く、樹種によ
って大きく異なります。クリの木が腐りに
くいのは心材にポリフェノールの一種であ
るタンニンが多く含まれているためであり、
またヒノキの心材の耐久性は抗菌性や殺虫
性をもつテルペン成分によります。ところ
がよく言われるヒノキチオールと呼ばれ
る精油成分ですが、日本のヒノキの心材
にはほとんど含まれていません。これを
含む樹種はヒバ（アスナロ）、ネズコ、
タイワンヒノキ、ベイスギなどで、い
ずれも大変腐りにくい木です。ですから
ヒノキチオールはヒバ油から精製されて
います。

その他、心材には様々な物質が蓄積され
ていますが、防腐性や防虫性あるいは快
適な香りなどという良い面だけでなく、
ぜんそくなどの健康障害や悪臭の原因と
なったり、加工の際の接着や塗装を妨げ
たり、金属汚染を引き起こしたりする成
分もあります。

ところで、建築に使用されて何百年と
経過した木材の心材成分はどうなってい
るでしょう。詳しい研究は行われていな
いと思いますが、ケブカシバンムシとい
う古材を好んで食害する乾材害虫は辺
材のみならず心材まで食害することを
みると、長い年月の間に心材成

分は揮発したり、あるいは重合してその効果を減じていることは十分考えられます。また、千年を越える屋久杉の太い幹の中心部が腐っ

ていることが多いのも、心材成分が変質している可能性も示しているのではないのでしょうか。

第2話

腐りやすい木と腐りにくい木

腐れや虫害に対する木材(あくまでも心材)の抵抗性は、過去の実験データ(日本各地で行われてきた杭試験や、腐朽菌・シロアリへの人工的な暴露試験—写真2-1)や経験をもとに分類されています。製材の耐久性区分では、ヒバ、ヒノキ、スギ、カラマツなどが劣化程度の低いD1樹種に規定されていますが、詳細な分け方では、極大、大、中、小、極小といった区分、あるいはそれに対応した数値段階で示されています。例えば、ベイヒバ、ベイスギ、ユーカリ、チークは極大、ヒノキ、ケヤキ、クリは大、スギ、カラマツ、ベイマツは中、アカマツ、ベイツガ、モミは小、エゾマツ、ブナ、ラジアータパイン、ホワイトウッドは極小、といった分け方です。



写真2-1 JIS K 1571に規定されている室内防腐試験の様子

わが国だけに生育するコウヤマキという木は腐りにくい材ですが、古代から棺桶材や水桶、橋杭など耐久性が要求される用途に多く使用され、日本書紀にも「槨は蒼生奥津棄戸(あおひとくさおきつすたへ)」すなわち棺

の材料に使いなさい、と書かれています。また、古代の宮殿建築では柱材としてヒノキに次いで重要視されていました。一方、北米に生育するアスペンは極小のグループに分類されとても腐りやすい木ですが、現在は木質ボードの一種であるOSBの原料として有効的に利用され、また、ラジアータパインも腐りやすいグループに分けられていますが他方で薬剤の浸透性がきわめて容易で、この点から安定的に保存処理が出来るということが利用上の特長となっています。これらのことは耐久性からみた木の使い方の適材適所といえるでしょう。

ただ、素材の耐久性は樹種によって異なるだけでなく、品種、産地、保育方法、樹齢によって違いが見られることは従来から指摘されています。われわれの実験でも、腐りにくいヒノキの心材でも産地によって耐朽性にかんがりの違いがみられました。また、スギの赤い心材(赤心)は黒っぽい心材(黒心)より造作上は高く評価されますが、耐久性の面ではむしろ黒心が赤心より優れているとも言われています。さらに、一本一本の樹木の中でも耐久性に寄与する心材成分の種類や含有量は異なると考えられ、耐久性が高いとされる樹種であってもその恐れもあるということです。

シロアリに対する木材の抵抗性、すなわち耐蟻性については、硬い木材より柔らかい木材が、広葉樹より針葉樹が、心材より辺材が好んで食害される傾向にあります。樹種による木材の耐朽性と耐蟻性は一致しないこともあります。一般的には耐朽性が小さいもの

は耐蟻性も低いと考えてよいでしょう。樹種による耐蟻性の差異は、耐朽性と同様に心材に存在する抽出成分に影響されることが多いとされています。写真2-2はヒノキとアカマツのシロアリに対する誘因性の実験で、アカマツの方に多くのシロアリが集まっている状況を示しています。また、写真2-3はカラマツとヒノキの円盤を飼育しているイエシロアリ(シロアリの種類については後述)の巣の上に置いた結果ですが、カラマツは辺材だけでなく心材も食害されているのに対し、ヒノキの

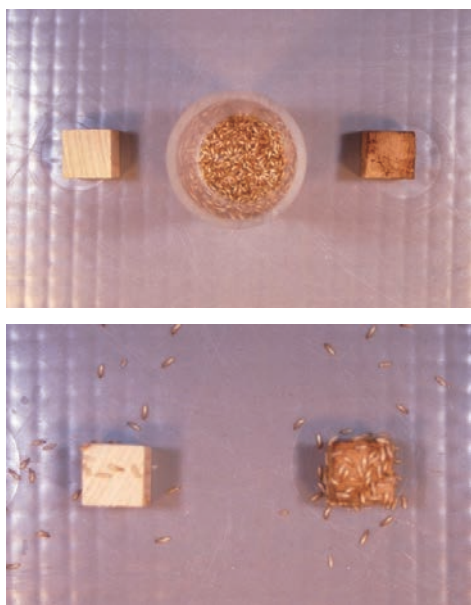


写真2-2 ヒノキとアカマツの心材木片を並べ(上)、中央に置いたイエシロアリを放つとアカマツに集まる(右)



写真2-3 シロアリによって食害されたカラマツ(左)とヒノキ(右)の円盤

心材は食害を受けていない様子が分かります。

ところで、屋外で使用されるボードウォーク等のエクステリアウッドには、ジャラ(オーストラリア)、スポッテッドガム(オーストラリア)、ボンゴシ(別名はエッキ、アフリカ)、セラガンバツ(東南アジア)、イペ(南米)等の海外から輸入された、いわゆる高耐久性樹種と称される木材が使用されることもあります。インドネシアやマレーシアで水上住宅の杭や橋などに使われているビリアン(別名はウリン)はボルネオテツボクと称されるようにとても強く、高温で多湿の熱帯地方でも何十年たってもビクともしません(写真2-4)。

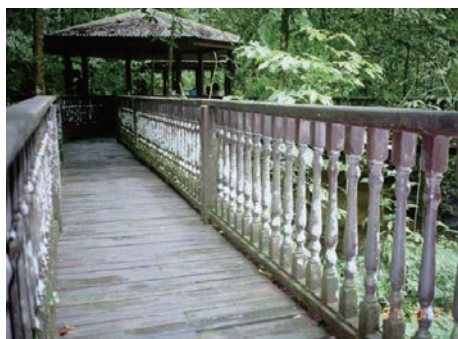


写真2-4 高温多湿の熱帯のジャングルの中でも50年以上の耐久性をもつとされるビリアン(ウリン)で作られたボードウォーク 木口実氏提供

しかし、腐りにくいといっても過度に素材の耐久性に依存すると、思わぬ事故に結び付く可能性もあります。特にわが国の気候はヨーロッパや北米の国よりも高温多雨で、特に夏場の雨量が多いため、場合によっては予期した耐久性が得られず劣化することもあります。また、天然林から供給されるそれらの木の蓄積量には限りがあり、生長するのにも大変長い年月を要し、決して持続的な資源ではありません。われわれが木材を利用するにあたっては、持続的に生産される木材を、設計、処理、診断、保守によって長く使っていくことが大切なのです。

腐れの進行

木はどのようにして腐るのでしょう。土に接した木材は、土中に存在する腐朽菌の菌糸や孢子との接触により、また、建築部材のように木材と土との接触がない場合では、すでに腐朽した木材から菌糸が伸びてきて腐朽が始まります。空中を飛散していた孢子が木の表面に付着し、水分が供給されると発芽して菌糸となり、木材内部へ侵入することもあります。木材の細胞の中で伸長した腐朽菌糸から分泌された酵素によって木材成分が分解され、それを栄養として腐朽菌糸はさらに木材内部で繁殖します（写真3-1）。

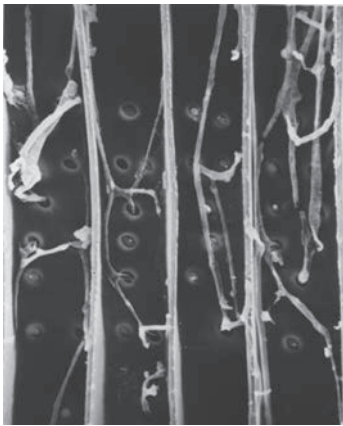


写真3-1 木材の細胞の中で繁殖した腐朽菌糸の走査電子顕微鏡写真（菌糸は木材細胞の壁孔—水分通導のための穴—を利用したり、直接穿孔して隣の細胞に侵入する）

木材の中に蔓延した腐朽菌が木をほとんど食べつくすと、今度は次の世代のために、孢子を抱えた「キノコ」いわゆる子実体をつくります（写真3-2）。食用きのことしてわれわれが食するのはこのキノコですが、建造物等では木材が腐って、キノコの発生を見かけることは一般的ではありません。まれに小さな



写真3-2 土中に埋められていたスギ杭から発生した子実体（腐朽はかなり進行していることを示す）

形をしたり、革状に付着したキノコを見かけることがあります。これは腐れが大変進行したことを示していますので、劣化の診断にとって重要な目印です。

この木材を腐らせる微生物は担子菌類というグループに属す菌類で、褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大きく分類されます。褐色腐朽菌によって腐った木材は褐色を呈して縦横の亀裂を生じ、一方の白色腐朽菌によって腐った木材は白っぽく見えることからそれぞれの名前



写真3-3 褐色腐朽(左)と白色腐朽(右)

が付いています（写真3-3）。このうち建築物等の主要な劣化微生物である褐色腐朽菌は針葉樹材を好み、初期の段階であっても大きな強度低下を引き起こします。他方、屋外では一般的に認められる菌類である白色腐朽菌はどちらかというと広葉樹材を好み、比較的強度低下は徐々に進行します。興味深いことに、シイタケやエノキダケのような食用のキノコの多くは白色腐朽菌です。

しかし、木材と腐朽菌が接触したとしても、そう簡単には腐朽は生じません。腐朽が発生し進行するためには、“温度、水分、空気”の3つの要件がすべて揃う必要があるのです。普通、気温が15度以上になりますと、腐朽菌の活動がはじまり、25度以上では活発になります。一般的な菌類は15～35度という温暖な雰囲気の中で活発に生長しますが、ナミダタケのように低い温度の環境下でも生育ができるものもありますので、要注意です。

木は乾燥状態では腐れは発生しません。木材含水率が30%以上になると腐朽菌は生育しますが、通常は50～90%付近が最適な水分状態だとされています。建造物の腐れは、雨水や生活水の漏水、あるいは結露によって水分が供給されたことで発生することが多く、水分管理がとても重要です。

その一方で、水分の多い土中に長い間打ち込まれた木杭が腐らずに出土するのはどういった分けでしょう。鎌倉時代初期のヒノキの木杭である相模川の橋脚、約1,800年前の木材橋脚遺構である小松市の千代・能見遺跡、16世紀の末に築城された松本城の松丸太木など長い期間にわたって建造物を支えた地中杭は多々あります。これはもう一つの要件である空気、すなわち酸素が常時水の存在する土の中では不足しているため、菌が十分に活動できなかったことによります。

土木など外構材料の場合、土中部分は上に述べたように腐りにくいのですが、地際付近が一番腐朽によって劣化しやすい傾向にあり



写真3-4 デッキ材での木口部分からの腐朽の進行

ます。これは周囲から水分が適度に供給され、さらに近くに劣化を引き起こす微生物が多く存在するためです。また、屋外に設置された木材では、雨水による膨張と乾燥による収縮によって割れが発生し、ここに水が滞留し、また、日射も割れの発生を促進します。そのため、縦使いの部材より水平部材において、特にその上面で割れが発生しやすく腐りやすいという分けです。

腐れは木口から発生することが多く、木製デッキを使っていると木口の突き合わせ部分で黒く変色し、そこから腐ってくるがよく認められます（写真3-4）。木材では木口からの水分吸収が側面に比べて飛躍的に速いこと、それとともに腐朽菌も侵入しやすいことがその理由で、逆に木口を塞ぐと腐れの進



写真3-5 金属との接触部での木材の腐朽

行は抑制されます。京都の清水寺を訪れる人は、舞台を支える貫の木口に取り付けられた覆い板を目にしますが、そういった工夫は岩国の錦帯橋をはじめ様々な場所で見かけることが出来ます。木口からの水分や腐朽菌の侵入を防ぐのは、腐れの進行を遅らせる有効な手段です。

また、ボルトやプレートなどの金物による

接合部も、腐朽劣化の発生しやすい箇所として注意しなければなりません(写真3-5)。これは熱的性質の違いから金属部で結露が起こりやすいことが原因と考えられますが、木材は腐ると分解生成物として酸性物質が生じてきます。すると今度は金属腐食が進行します。木材の腐朽と金属の腐食という負の連鎖で、これも要注意です。

第4話

腐れに紛らわしい汚染

湿度の高いところに置いてある木材の表面が、褐色や黒、黄色や赤などの独特の色が付着して汚染されることがあります。このような表面汚染を起こすのは一般的にカビと総称されている菌類で、多くは木材の表面にのみ菌糸や孢子が付着しています。菌の種類によって特異的な色を示しますが、これは孢子や菌糸自身、あるいは菌糸の分泌する色素によって、または菌糸から出る酵素と木材成分とが反応して生じたものです。一方、伐倒後に未乾燥状態に置かれた製材品の辺材の内部まで変色する汚染があります。変色菌と呼んでいますが、マツ丸太の辺材部を青く変色させる青変が代表的で、青色を示す青変菌の菌糸が多量に繁殖することが原因です。

こういったカビや変色菌と腐朽菌とは何が違うのでしょうか。カビや変色菌はデンプンや糖類を栄養として生育し、木材の主要な構成要素であるセルロースやリグニンを分解できないため、先に述べた腐朽菌と異なり強度を低下させることはほとんどありません。

カビが辺材に生育しやすいのは、吸水性が高く、栄養も多いためですが、樹種の違いではヒノキやスギに比べるとマツが汚染されやすい傾向があります。カビの生えやすい樹種では乾燥までの工程で発生する汚染を防ぐため、防カビ剤の液中に木材を浸漬することが

行われています。また、表面塗装はカビの発生を遅らせる効果があるものの、表面にフィルムをつくるタイプの塗料は内側にカビが生える可能性がありますのでメンテナンスの上で要注意です。

ところで、寺社などの古い建築物では柱の根元部分が白くなっていることに気づかれることが多いでしょう(写真4-1)。縦使いの柱の基部だけでなく、横に置いた木も白くなっていることがあります。ただ良く見ると、必ず礎石などに接した部材に限定されていて、しかも、柱では石に触れているところが一番白く、上になると薄らいでいます。こういった木材の“白化現象”は腐朽と見間違いやすいですが一体何でしょう。

そこで写真4-2のような木材の白い部分を削ってみました。すると内部からは普通の色



写真4-1 石との接触部からの柱の白化現象



写真4-2 白化した木材表面を削ったところ

をした木材が現れ、白いのは表層部だけであることが分かりました。次に、削った白色の木片を分析してみたところ、シリカやカルシウムあるいはアルミニウムといった無機成分が特異的に検出されました。すなわち、石の無機質が木材に移動して沈着したものと考えられました。木材の下に置かれた石からは、直接的な雨水によって、あるいは結露した水分によって徐々に成分が溶け出したのでしょう。木材が未乾燥で使用された場合は溶け出すのも早いと思われます。石の無機質は水分の移動に伴って移動すると思われるので、特に横に置いた木材では表層付近に多く存在したのではないのでしょうか。いずれにしても、木材は劣化していません。

腐朽と誤解されやすいもう一つの現象は、木材の表面が緑色を呈するもので、建造物であれば北側壁面や樹木に覆われた湿気の多いところでよく発生します(写真4-3)。こういった現象は木材だけでなく、コンクリートやレンガ等の凸凹した吸水性の高い材料にも見ら



写真4-3 藻類に汚染された建築物の部材

れます。これらは材料表面に付着する藻類によるもので、白化と並んで腐れと誤解されやすいですが、まったくの別物です。

この藻類はクロロフィルをもち自分で光合成を行って栄養物をつくる事が出来ますが、温度、水分や湿度の影響を受け、特に水分の影響が大きいようです。写真4-4は京都の三条大橋の南側高欄(北に面す)と北側高欄(南に面す)を見たものですが、陽が当たる北側高欄では藻類の発生は認められず、それに比べて南側高欄では緑色を呈しています。この藻類の汚染については樹種による違いは明確ではありませんが、吸水しやすい木材ほど発生しやすいのは明らかです。



写真4-4 三条大橋の南側高欄(左)と北側高欄(右)

さて、写真4-5は一つの束の基部には藻類による緑色の汚染、それより上には無機質の沈着による白色の汚染、さらに上部にはカビが生育して黒っぽい汚染を生じている様子を示しています。



写真4-5 一つの束に見られた藻類(基部)、白化(中間)、カビ汚染(上部)

木の風化

古い寺社仏閣の濡れ縁、あるいは公園に置かれたベンチのように雨ざらしの場所にある木材は、その表面が彫刻刀で削ったように粗くなっているのを目にされるでしょう。これは風化と呼ばれる現象で、日射と雨に引き起こされた劣化です（写真5-1）。



写真5-1 風化した木材表面

木材は非常によく太陽光を吸収する物質で、特に主要成分のリグニンは紫外線を吸収しやすい構造をもつため、光分解作用を受けます。分解された成分の多くは水に溶けやすく、雨水により容易に木材表面から流れ出ます。その結果、表面層はリグニンが消失し、セルロースに富んで灰色化します。写真5-2は数週間屋外に暴露した木材の電子顕微鏡写真ですが、木材を構成する細胞がばらばらの状態になってきています。細胞と細胞との間に多く存在するリグニンが分解・溶出した結果ですが、まるで紙になるパルプをつくっている状況とも解釈できます。

長期間にわたって屋外に暴露された木材表面はみな暗灰色化していますが、順を追ってこのプロセスを見てみましょう。まず日射によって木材の変色が起こりますが、元々濃い色の木は色が薄くなり、薄い色の木は濃くなりま

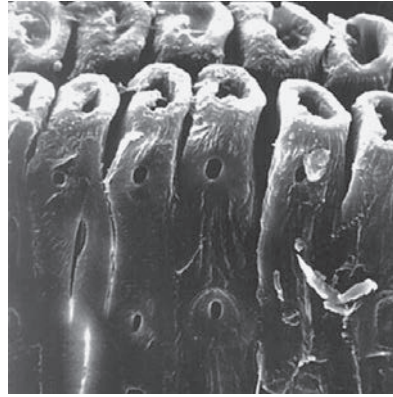


写真5-2 屋外に数週間暴露した木材表面の走査電子顕微鏡写真

す。ついで褐色成分のリグニンの分解が生じて白色化してきます。その後、カビなどの付着による斑点状の黒色のシミが発生し、これが進行して最終的には樹種に関係なく暗灰色化します。風化した木材表面にカビが生えやすいのは、セルロースの光分解によって生成した糖類が栄養になっているのではと考えられています。

風化では、木材成分の光分解と雨水による溶出が繰り返され、順次現れる内部の新鮮な部分も同様に光分解を受け、結果として木材表面は軟らかい早材部を中心に崩壊が進行します。この風化のスピードは、針葉樹材での海外の報告では100年で10mm程度ともいわれていますが、雨の多いわが国ではもっと速い可能性もあります。もちろん、強い風に曝される環境では吹き付ける砂粒などによって、ちょうどエンボス加工（浮造り）を施したように、表層の摩耗がより一層進むことは十分考えられます。

この木材成分の光分解は水分が存在すると加速されるため、日差しが強い夏期に雨が多いわが国の気候風土は木材の風化にとっては

きびしい環境であるといえます。以前に京大名誉教授の伊東隆夫氏から、タクラマカン砂漠にある遺跡を調査された折に撮影された住居址に林立する木柱を拝見したことがあります。2千年にわたり強烈な太陽光に曝されても砂漠の中にその姿を保ってきたのは、雨がでないということが大きな理由だと思われます。

木材の風化は外観だけでなく実際の使用上も色々な問題を引き起こします。一つは腐朽を促進するということです。3話で述べましたが、屋外に設置された木材では日射による劣化が割れの発生を誘発し、雨水による膨張と乾燥による収縮も作用して割れが拡大し、ここに水が滞留して腐れに繋がります。そのため、縦使いの部材より水平部材において、特にその上面で割れが発生しやすく腐りやすいという分けです。

また、研削した木材を日の当たる場所に置いておくと、たとえ数日間であっても表層は光劣化します。それを接着したり、塗装したりすると、剥離などの不良が発生しやすくなります。表面研削の加工後は速やかに接着や塗装をすることが大切なのは、このような事情に基づいている分けです。昔に米国の林産試験場の暴露実験地を見学したことがありますが、研削後の期間を変えて塗装した木材を屋外暴露したのがありました。見事に期間に応じて早く塗膜の割れや剥離が発生していました。

木材の風化は日射量、雨量、それに気温の影響を受けますが、各地域の風化のスピードを表した気候指標(CI指数)というのが木口実氏によって提案されています(図5-1)。

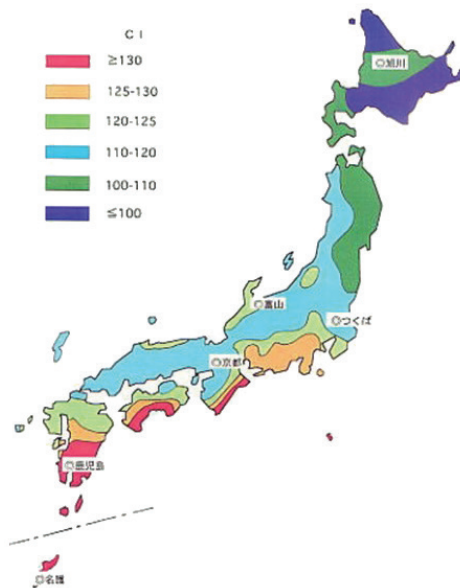


図5-1 木材風化の気候指標(CI)一木口実氏提供

この数値は実際に木材を屋外に暴露して測定した表面からの消失木材量と、気候条件を関連付けて表示したものです。測定地点が少ないこともあって完全なマップにはなっていませんが、傾向は読み取れると思います。九州南部などの値が大きいのは高温多雨の気候のせいと考えられますが、気温の低い北陸地方や山陰地方でこの指標が高いのは、冬季に湿った雪が多く、これが風化を促進したと考えられています。

日射と雨水が風化を引き起こす一番の要因であるため、その影響は住宅では部位によって大きく異なり、同じ外壁であっても日当たりの良い南面で激しく、北面では少ない傾向があります。また、庇に覆われた部分と暴露されている場所でも大きく違います。

この木材保存シリーズは、平成29年1月21日に日本建築協議会で講演した内容に
加筆して項目別の読み切り形式に再編したものである。