

# 気候・風土と環境共生建築

## — 建築材料・部材の視点から

北九州市立大学国際環境工学部環境空間デザイン学科

教授 福島敏夫



### 1. はじめに

「気候・風土と環境共生建築」という難しいテーマについての原稿を依頼された時、少々、面くらしい躊躇もあったが、これまでに、日頃抱いていた素朴な疑問を解くために集めた資料と、北九州市立大学での講義の内容、いろいろな雑誌・書籍で執筆した原稿の内容と、諸学会・協会・国際会議での発表論文の内容を基にして、これまでの私のホームグラウンドである建築材料・部材の視点から、このテーマについて要領よく論じてみることにしたい。多少は、主観や勘違いの点もあるかと思われるが、当たらずといえども遠からずと思ってご容赦願いたい。本稿が、「気候・風土と環境共生建築とそれを支える素材としての建築材料」についての情報の提供として、少しは役立つとしたら、無上の喜びと感じる次第である。

### 2. 環境共生建築とは？

最近、地球環境問題への建築分野での対応として、環境共生建築 (Eco-building) が喧伝されるが、人によりその意味と内容が若干異なっているようである。ただ、基本的には地域的自然環境と融合し、さらに地球環境負荷の低減化をめざした建築を指すと思われる。具体的には、太陽エネルギーや自然の風の有効利用とともに、断熱・遮熱・蓄熱の技術を取り入れるとともに、自然の景観とマッチした建築ということになる。建築材料の視点からは、環境調和型材料 (エコマテリアル) の

有効利用により、環境負荷低減を図ることになると思われる。その意味で、建築を支える素材としての建築材料のエコマテリアル化と、使用中の省エネルギーと自然との融合および長寿命性の4つが、環境共生建築の基本ではないだろうか？ただ、その環境共生建築が実効性を持つには、地震・火事等の災害に対応している必要もあるし、環境調和性の持続性を考えると、簡単には劣化しない長寿命性も必要になるし、また、やたらと高価になると、一般的なものとなり得ないから、ある程度は、経済性も必要であろう。その意味では、環境/景観と安全性/長寿命性経済とのバランスをめざす持続可能建築 (Sustainable building) と軌を一にする内容のものと思われるところもある。その際、融合すべき自然環境は、気候・風土と密接に関連することに留意すべきである。世界的規模でも、熱帯・温帯・寒帯に属する環境建築では、その様式を異にするとと思われるし、南北に長い日本でも、亜寒帯から温帯さらに亜熱帯に属する地域差があり、環境共生を論ずるとき、その地域・風土に根ざしたものである必要がある。高階氏によれば、日本の建築物は、伊勢神宮や桂離宮に見られるように、自然との融合を是とし、簡素さに美を求める傾向があるのに対し、パルテノン神殿やルーブル美術館に代表されるギリシャやフランスなどのヨーロッパ建築では、自然を威圧し、装飾を施した人工美を強調する建築物が多いそうである (写真1)。本来の日本の建築は、日本の気

候・風土にあわせ、自然と融合する環境共生建築であったと考えられる。それに対して、欧米の建築は、自然からの隔絶と防御を主体とした建築様式であったと思われる。写真2は、世界遺産にもなっている日本の日光における東照宮の外観を示すものである。日光の気候・風土に融合し、維持・保全を通じて長寿命化を実現し、色々な災害にも耐えた実績が示されている。また、写真3はシンガポールの歴史博物館の概況を示すもので、熱帯雨林気候と融合し、また劣化にも耐え、また先のスマトラ沖地震にも耐えて、110年の長寿命性を発揮した鉄筋コンクリート造環境共生建築の実例と思われる。



パルテノン神殿

伊勢神宮



ルーブル美術館

桂離宮書院

写真1 日本とヨーロッパの建築様式の比較図

### 3. 長寿命性・安全性と環境調和性・資源循環性の両立をめざした環境共生建築

前述のように、環境共生建築が実効性を持つためには、気候・風土に対応した環境調和性ととともに、その気候・風土による環境・劣化条件により、簡単に寿命がつかないような長寿命性の配慮が必要と思われる。長寿命化を図れば、建築物の形で有限の資源をストックするとともに、廃棄物の発生回数と発生量を低減し、建設に伴う資源・エネルギー使用量を減らし、断熱構法などのパッシブ・ソーラーシステムを併用すれば、省エネルギー効果の持続性により、大いに環境負荷の低減化を図れるからである。その意味で、環境共生と環境保全に配慮しつつ、建築物を長寿命化するための耐久設計が、改めて重要になると考えられる。しかし、動物・植物を問わず、人間も含めて、生きとし生けるものが、生を受けた後、生命力の高揚に基づく壮年期を経て生命を十分謳歌した後は、必ず寿命が尽きて死して大地に戻るという自然の哲理を免れないように、人工の構築物である建築物も、永久であるわけではなく、永年経過する



写真2 日光東照宮の遠景



写真3 シンガポール歴史博物館の遠景

うちには、いろいろな劣化や風化が起こり、やがては、寿命に達して、解体され、元の大地に戻るようになるのもある程度は自然の流れである。そのとき、気候・風土が大いに関連してくる。それでも、劣化のメカニズムをよく理解し、的確な工

学的配慮を行えば、医者の医療行為と同じように、劣化を予防し、診断し、治療を行い、延命化して、天寿を全うさせることは、十分可能ではあり、長寿命化による上記の資源の有効利用と環境負荷低減効果を期待できる。しかし、これは、資源循環の動脈の流れだけを考えたものであり、建築物が建っている間だけの資源のストックや環境負荷低減効果を考えても、実際には、いつかは寿命がきて、大量の混合廃棄物の山となり、後の処理に苦慮することを忘れていた。耐用年数が終わった後の解体、リサイクルの容易性及び再生産時における再生資源・未利用資源の有効利用による物質・材料効率の改善など、資源循環の静脈の流れに沿った環境調和性の向上をも考えた環境調和生涯設計（エコライフサイクル・デザイン）を行う必要がある。図1は、動脈と静脈の流れを考えた資源循環と環境調和型生涯設計（エコライフサイクル・デザイン）の考えを示すものである。

建築物の劣化には色々な要因が働くが、気候・風土及び建築様式とも密接に関連する。そのような風土や文化的な考え方の違いも、建築物を長持ちさせる工夫の仕方の相違となっている点もある。冬の時期の小雨を除いては、一般的に低温・低湿気候を特徴とするフランスと、年間降雨量が世界平均の2倍以上もある高温・多湿を特徴とする日本では、自ずから劣化の要因は違ってくる。例えば、低温・低湿気候のフランスでは、水蒸気が外壁の屋内から屋外側に移動する傾向にあるが、高温・多湿気候の日本では逆に、屋外側から屋内側に移動する傾向があり、水が要因となる諸々の劣化状況や、その対策も違ってくる。このために、フランスの石造建築のパリのルーブル美術館と日本の木造の伊勢神宮などでは、長寿命化の工夫も違っている。フランスの石造建築では、目地部モルタルの水の内部から外部への滲み出しに伴う水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) の溶出と大

気中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) との反応で炭酸化カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) が形成されるのに伴う白華（エフロレンス）現象による汚れが問題となり、その対策が必要であるが、小雨傾向を反映し、屋根は、殆んど陸屋根である。日本の木造建築では、水分による木の腐朽が問題となるために、大きな勾配屋根で覆い、軒が非常に深く、柱等への水かかりが少なくなるようにする。また、正倉院の校倉作りに見られるように、屋内にこもる湿気は、うまく外に逃がす工夫をして、木の腐朽を防ぐ工夫がなされていた。他方、フランスでは、一般に、内装をかえるが、外装はメンテナンス・フリーを前提としているが、日本では、屋根材などの外装材の維持・保全と補修・交換を前提として長寿命化を図る工夫がなされていた。熊野神宮では、2年ごとに屋根材の檜皮の交換をするそうだし、白川郷の合掌建築では、2年ごとに屋根材の茅の交換をして、維持・保全を行うと言われている。その意味で、日本では、その地域・気候・風土に合わせた環境共生建築の長寿命化の工夫がなされてきたと考えられる。

いずれにせよ、建築物の長寿命化は、環境共生建築の資産価値を保証し、資源ストックを確保し、省エネルギー効果の持続性にも寄与する。しかし、工学的な工夫により長寿命化を図ることができても、永久ではなく、いつかは、寿命に至り、やがて、大量の建設廃棄物を発生することになることを認識しなければならない。特に、塩害による内部鉄筋の腐食やアルカリ骨材反応によるコンクリート組織そのものの劣化などは、コンクリート構造物の早期劣化の原因と大量の混合廃棄物発生の要因ともなりやすい。的確な劣化対策と共に、維持・保全の取り入れや、耐用年数が終了した後の有効な処置も含めて、設計段階から長寿命性と環境調和性・資源循環性の両立方策を検討する必要がある。

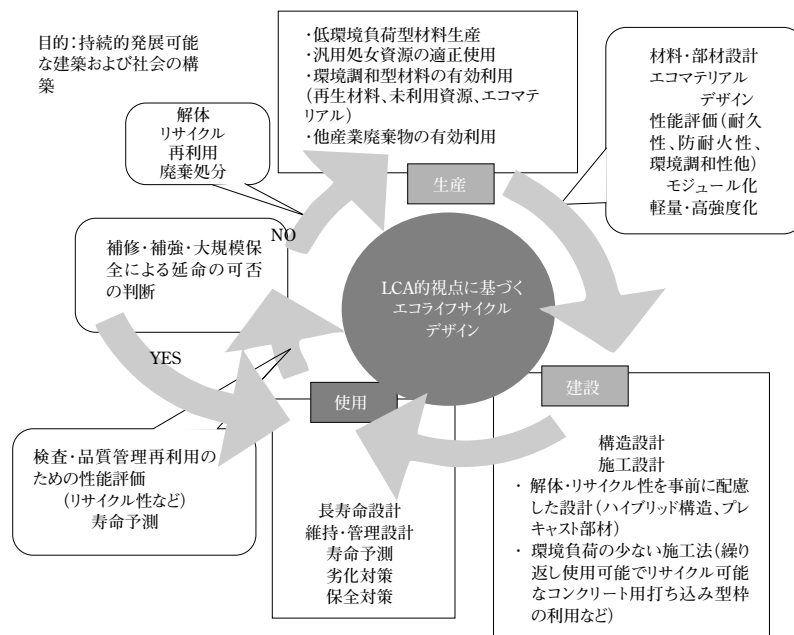


図1 動脈と静脈の流れを考えた資源循環と環境調和型生涯設計 (エコライフサイクル・デザイン) の考え方

#### 4. 建築材料の歴史的展開—気候・風土に合った身近な材料から、より機能的な先端的材料まで—

建築物を支える素材としての建築材料は、これまで、その時代・風土に応じて、様々なものが利用されてきた。その使用状況での要求性能・機能に対応する形で、天然材料と人工材料の生産形態的区別、有機材料、無機材料、金属材料、複合材料の材料特性別分類、構造材料と非構造材料 (或いは機能材料) の用途別区別を問わず、多種多様なものが建築材料として大量に使用される。歴史的に眺めると、人類が地球上に出現し、洞窟から抜け出して、大自然の猛威をさげ、雨露をしのぐシェルターとしての住居を初めて構えた時、それを支えたのは、木、竹、草、土、石などの天然材料 (第一世代材料) で、その使用が現在でも綿々として続いている。安価で大量供給可能な生産技術の進歩と共に、青銅、鉄、アルミニウムなどの金属材料 (第二世代材料) や、セメント、コンク

リート、ガラス、石灰、石膏など各種の無機材料が使用されるようになる。20世紀初めのカラーザスによるナイロンの発明を契機として、20世紀半ばからプラスチック、塗料などの合成高分子材料が華々しく登場して、大量生産・大量消費・大量廃棄の物質文明の主役として、日用品、電気製品、自動車、航空、土木分野など各種の分野で使用されるようになる。また、屋根材、内、外装材、断熱材などの形で、建築用の各種の機能材料としてものすごい勢いで使用されるようになる。高層建築の曲面採光窓には、有機ガラスであるポリメタクリル樹脂やポリカーボネート樹脂が使用されているし、壁紙や床材や雨樋などには、塩化ビニル樹脂が使用されている。カラフルな外装塗料および仕上塗材には、各種各様の合成高分子が使用されるようになった。その後、材料科学の進歩と技術革新の流れの中で開花した1990年代初期の“新素材ブーム”では、新高分子材料、ファインセラミックス、新金属材料と共に、炭素、アラミド、

ガラスなどの新素材繊維を駆使し、材料科学・技術の粋を集めた繊維強化プラスチック（FRP）に代表される人工材料の傑作ともいえる各種の先端複合材料（第4世代材料）が登場し、その用途を広めつつある。短繊維補強と連続繊維補強があり、また、プラスチックを基材とする繊維強化プラスチック（FRP）とセメントペーストまたはモルタルを基材とする短繊維補強セメント系複合材料（FRC）、および連続繊維補強コンクリート（FRPRC）がある。ガラス繊維強化不飽和ポリエステルに代表される短繊維強化プラスチック（FRP）は、給水タンク、バスタブ、キッチンユニットなどに使用される。また、炭素、ガラス、アラミド連続繊維強化プラスチック（CFRP、GFRP、AFRP）は、新築建築物では、腐食が起こりやすく、磁性を帯びやすい内部鉄筋に代わる非金属コンクリート補強材として、特に海岸地帯の塩害劣化を嫌う日本海側の原子力施設の外壁や、極寒地帯である南極の昭和基地の地中梁、迷走電流による磁性を嫌う横浜の地球環境シミュレータ施設のコンクリート床などの特殊建築用途に使用されており、防・耐火性等の問題が解決すれば、一般のコンクリート建築物にも使用されていくと予想される。また、既存建築物の補修・補強では、劣化した鉄筋コンクリート造建築物に対する補修・補強あるいは耐震補強のために、その軽量性と施工の容易性の特長を活かし、銅板接着法に代わり、炭素、アラミド連続繊維を用いた連続繊維シート補強材としても使用される。現在でも、建築物を支える3大基幹構造材料は、鉄、木、コンクリートであるが、先端複合材料もその構造材料としての地位も見出そうとしつつある。しかし、現代の高分子材料およびこれらの複合材料は、使用時の高性能・高機能性とは裏腹に、使用後のリサイクルがきわめて難しい難処理性廃棄物となり易く、もう少し環境に配慮したものに転換するこ

とも要請されつつある。第五世代材料とみなされている外界自己感応型複合材料は、高強度・高性能・高機能性ととともに、外界に官能して変化する生命体を模擬した生涯設計を機能として組み込んだ環境調和型知的構造・機能材料を想定するもので、その概念の創造と技術開発を目指した動きも活発化する趨勢にある。材料科学的視点に立って考えてみると、天然木材は、微視的には、天然高分子樹脂のリグニンを基材（マトリックス）とし、天然高分子繊維のセルロースで一軸方向に強化され、気泡組織を内包することにより吸・放湿特性を具備した高機能性天然高分子複合材料と見なせる。第五世代材料を考えると、自然素材の巧妙さをモデルとする必要性も強調されるようになってきている。ポリ乳酸などの生分解性プラスチックなども、バクテリアが分解しやすいように、分子構造の中にエステル組成の導入などが必要な場合もあるが、自然の巧みさをモデルとしたものである。資源の枯渇や環境調和性を考えると、今後は、合成高分子材料も、枯渇性の化石資源に由来するものではなくて、再生産資源のバイオマス資源に由来するものも必要になるであろう。ただ、建築における材料の使用形態は、いくつかの材料の組み合わせとしての複合部材・部品の形態をとり、高分子材料および先端複合材料といえども材料単体として使用されることは少なく、建築部位における使用状況下で、性能・機能を論ずる必要があることに留意されたい。筆者は、最近、自己修復と自己崩壊の生涯設計を組み込んだ環境調和型超複合材料を提案し、その実現をめざすブレーク・スルーの検討と環境共生建築の環境調和型インテリア・プランニングへの応用を検討している。このような材料は、人工の材料技術の粋を尽くした先端材料であって、かつ、より機能性を持った環境共生建築を支える環境調和型材料となり得るものである。まだ、概念の域をで

ないが、将来の技術発展の源になることを信じてたい(手塚治虫が鉄腕アトムの漫画を発表したとき、荒唐無稽な話として皆が笑ったが、約50年経って、昨年の愛知万博で、多種多様なロボット技術が開花して、賑わいを見せたことを考えてもらいたい)。気候・風土と時代を超えた普遍性を持った環境共生建築の実現には、このような建築材料も必要だと考えられる。

## 5. エコマテリアルとエコマテリアル型建材

環境との調和のとれた物性・材料科学技術の発展は、今後の人類の存在と活動の基盤を構築する上での焦眉の急であることが認識されつつある。このため、地球環境保全に向けて材料からのアプローチを図るために、この環境調和型材料(エコマテリアル)の新しい概念が、日本を情報発信源として提唱され、世界的にその重要性が認識されるようになってきた。この「エコマテリアル」の概念は、従来指向されてきた材料特性の中のフロンティア性やアメニティー性のほかに、リサイクル性や環境負荷低減性などの環境調和性をも合わせ持つ均衡型の材料特性を持った、新しい材料概念である。今後開発・使用される新素材は、この概念に沿った地球環境に優しいものでもある必要がある。建築材料・部材の開発や材料設計にも、新たにこの視点が必要であり、今後は、リサイクル性や環境負荷低減性などの環境調和性を持った“地球に優しいエコマテリアルである”という特性も必要になってきている。また、先に述べたように、アスベスト、ラドン等による肺癌誘発の問題や、内装材や接着剤、塗料などから遊離するホルムアルデヒド等の揮発性有機化合物(VOC)による健康障害に見られるように、人間の居住環境を損なうような建築材料の開発や使用はしないというような哲学も必要である。この意味では、環境共生建築を支える建築材料は、“地球環境にも

人間居住環境にも優しい”エコマテリアルである必要がある。

## 6. おわりに

環境共生建築について、気候・風土との関連、また、建築材料のエコマテリアル化および環境調和型生涯設計(エコライフサイクル・デザイン)との関連について述べてきた。とりとめない話になった嫌いもあるが、本稿が気候・風土と建築材料との関わりの中で、環境共生建築の発展と実効性向上に役立つならば、望外の幸せと感じ、ここで筆を置きたい。

### 【参考文献】

- 1) 高階秀爾：日本の美と西洋の美，学士会報，No. 833，pp. 186-204，2001.10
- 2) 福島敏夫：環境調和型材料設計・生涯設計法—持続的発展可能な環境調和型建築・都市の構築の基礎として—，日本建築学会総合論文誌第1号，pp.74-80(2003)
- 3) T. Fukushima: “Conceptual Design of Super Environment-Conscious Intelligent Composite Incorporated with Life-Cycle Program of Self-Repair and Self-collapse and Application for Environment-Conscious Interior Planning in Buildings” 「自己修復と自己崩壊の生涯設計プログラムを埋め込んだ環境調和型知的超複合材料の概念設計と環境調和型内装設計への応用」，Materials Transactions Vol.46, No.12, pp.2567-2573 (2005)

### プロフィール

#### 福島敏夫(ふくしまとしお)

北九州市立大学国際環境工学部教授

#### □ 略 歴

東京大学工合成化学科卒  
同大学院博士課程工業化学終了  
平成12年まで建設省建築研究所にて耐久性・複合材料などを研究

#### □ 現在の研究テーマ

- ・建築材料・部材・構法の環境調和型材料設計・生涯設計とその材料要素技術に関する研究
- ・建築物の長寿命化のための建築材料・部材の劣化機構と寿命予測・評価