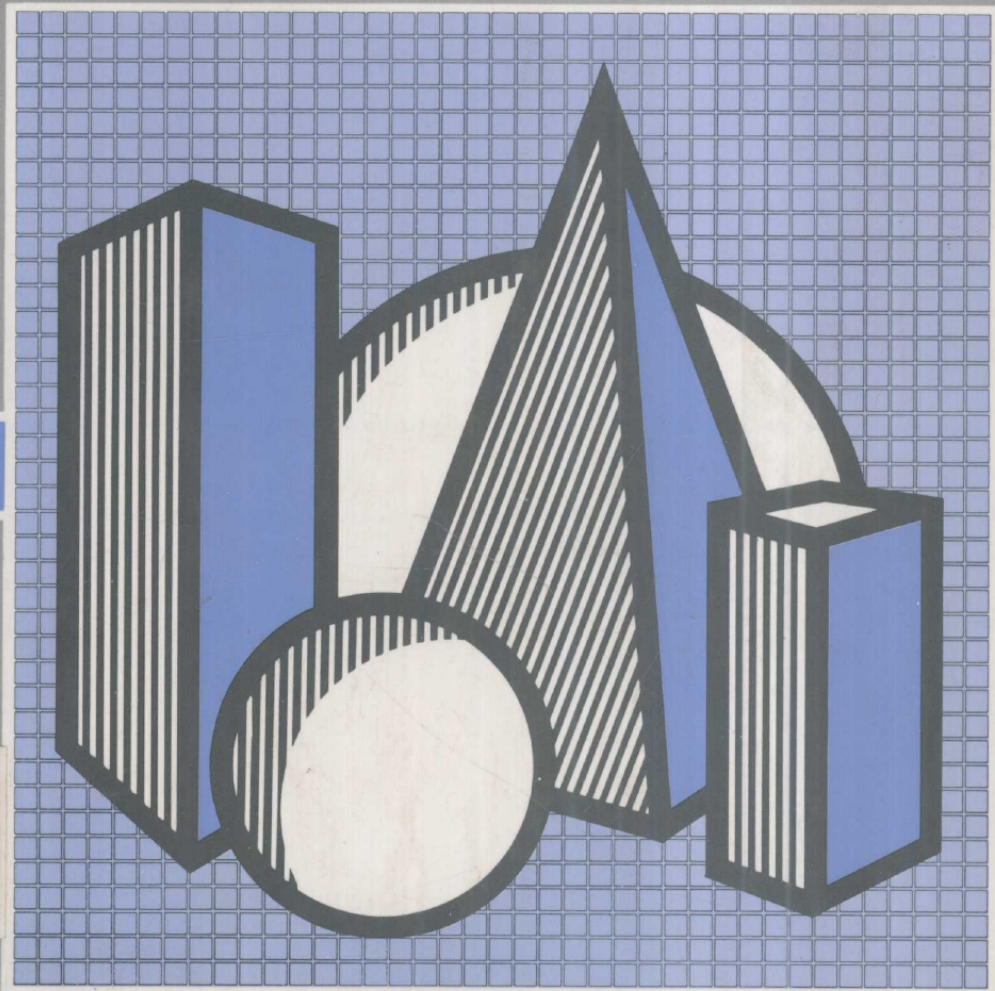


最新建築環境工学

田中俊六・武田 仁

足立哲夫・土屋喬雄

共著



井上書院

最新建築環境工学

田中俊六・武田 仁

足立哲夫・土屋喬雄

共著

井上書院

X-2811

W 987

●著者略歴

田中俊六（たなかしゅんろく）

1938年 三重県に生れる
1961年 早稲田大学理工学部建築学科卒業
1966年 早稲田大学大学院工学研究科博士課程単位取得，東海大学工学部建築学科専任講師

1978年 工学博士（早大）

現在 東海大学工学部教授

著書 『太陽熱冷暖房システム』『ソーラーシステムの設計と施工』『ソーラーハウスの常識』（共著）以上オーム社、『建築設備』（共著）学飲社

武田 仁（たけだひとし）

1943年 兵庫県に生れる
1967年 早稲田大学理工学部建築学科卒業
1972年 東京大学大学院工学研究科博士課程修了，工学博士
現在 東京理科大学理工学部助教授

足立哲夫（あだちてつお）

1936年 東京に生れる
1960年 早稲田大学第一理工学部建築学科卒業
1962年 早稲田大学大学院理工学研究科修了
現在 工学院大学助教授，東京理科大学非常勤講師

土屋喬雄（つちやたかお）

1940年 東京に生れる
1964年 早稲田大学第一理工学部建築学科卒業
1969年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了，工学博士
1974年 建設省建築研究所居住環境研究室長
現在 東洋大学工学部建築学科教授

最新 建築環境工学

定価2800円

1985年 1月25日 第1版第1刷発行

1985年 4月17日 第1版第2刷発行

著者 田中俊六 足立哲夫
◎ 武田 仁 土屋喬雄

発行者 井上肇子

印刷所 藤本綜合印刷株式会社

製本所 有限会社ダイヤ製本所

発行所 株式会社井上書院

東京都千代田区平河町1—8—13和田ビル
電話(03)261-6227 振替東京1-100535

＊本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写複製（方法のいかんにかかわらず）すると著作権・出版権の侵害となる場合がありますからご注意ください。

ISBN 4-7530-1720-6 C3052

まえがき

本書は大学の建築学科の学生の教科書として、また、若い建築家、技術者の建築士受験のための参考書としてできるだけ明解、平易に書かれたものである。

よく、学生から建築環境工学は他の教科に比べて難解で魅力に乏しいという声をきく。これは建築環境工学が建築デザインほど感性的なものでなく、構造力学ほど理論的でもないこと、またその取り扱い対象が音、熱、光、空気、水と環境のかかわりあいと幅広く、学問的にも物理学から生理学、心理学、工学にわたる広領域であり、初学者にとまどいを与え、その全体像を捉えることを困難にしていることなどに大きな原因があるものと考えられる。

これまでにも多くのすぐれた建築環境工学の教科書が上梓されているが、ややもすると教科の内容を執筆分担当別に機械的に羅列したものや、教科書の範疇を超えてあまりにも専門的な理論に立ち入ったものも少なくない。

本書ではこのような観点から、まず概論として建築環境工学の全体像を理解させ、後に続く各章の相互関係を周知させるとともに、この分野に共通する工学的取扱いの基礎事項がマスターできるように配慮した。さらに各章の記述では、この種の共同執筆にありがちな内容の重複、不足、アンバランス、記号の食い違いを極力さけ、できる限り簡明な表現とするとともに、理解を助けるために新しいさし絵、精選した図、表を多用した。

建築において、より高い環境水準の維持、向上とともに、省エネルギー化への要請が高まっている現在、今後、環境工学を専門としようとする学生だけでなく、すべての建築に興味を持つ学生、技術者がこの分野に興味を持ち、理解を深めることに本書が少しでも役立てば幸いである。

最後に本書への図、表への引用をお許しいただいた各出版社、著者、ならびに本書の編集にあたっていただいた井上書院編集部の関谷勉氏に深甚な謝意を表します。

1984年12月

執筆者を代表して 田中俊六

井上 建築設備辞典

紀谷文樹・小谷隆・酒井寛二編 空調・給排水衛生・電気・防災の各設備用語約6000語と、理解を助ける図版 200 余枚を収録。簡潔で平易な説明に徹し、語数に重点を置いています。学生、若手実務家に最適なコンパクトな内容です。 定価4800円

建築実務用語集

猪野勇一・笹原貞彦・井上精二編 建築実務に不可欠の用語5380語を収録し平易に解説した、建築実務家・学生必携のポケット辞典。表記は平かなと片かな(外来語)として五十音順に配列し、知りたい用語の意味が即座に引き出せます。定価1500円

建築の結露 その原因と対策

山田雅士著 複雑な結露発生の原因とその防止対策の研究に永年携わってきた著者が、20余年のデータの蓄積と現場経験をふまえて「結露を止める」ための理論的根拠と実際の施工法を具体的に詳述した結露対策の指針となる唯一の参考書。 定価3000円

建築の断熱 改訂版

山田雅士著 断熱の基本事項、省エネルギーと断熱の問題、外側断熱と内側断熱の比較、鉄筋コンクリート造と木造における断熱方法の相違、断熱と結露の問題、断熱改修工事などについて、理論と実際面から考究した労作です。 定価2900円

住宅建築の断熱入門 考え方と納め方

千塚滋夫著 一般住宅における断熱化の考え方と断熱材の取付け方法や問題点を具体的に解説。また、断熱化による経済性の問題や新設・既存住宅における敷設方法など、住宅建築の断熱化についてあらゆる角度からまとめられています。 定価2000円

建築設備の省エネルギー計画

川元昭吾・石関正近・梅主洋一郎編 エネルギー消費の実態にたつて、各種設備機器を操作する上での具体的な手法とその制御まで、有効な省エネルギー計画を実行するためのポイントを豊富なデータをあげて詳述しています。 定価2800円

建築卒論・レポートの書き方

山口廣・笠井芳夫・浅野平八編 卒業論文を間近に控えた学生、日頃のレポート作成に苦心されている方々のために、資料の収集・整理など準備段階から、書き方・まとめ方まで、技術系・計画系に分けて懇切丁寧にまとめた唯一の手引書。 定価1300円

第1章 概論

(田中俊六)

1-1 建築環境工学とは	1
(1) 環境と環境工学	1
(2) 建築環境工学と建築計画	2
1-2 建築と自然環境	4
(1) 概要	4
(2) 空気と水の性状	5
(3) 気候要素	7
(4) 気候区と気候図	12
1-3 建築環境工学の基礎知識	15
(1) 使用単位について	15
(2) 熱エネルギーの流れ	17
(3) 熱移動の基本3プロセス	19
(4) 熱貫流とオームの法則	23
(5) 光の輻射, 太陽エネルギー	26
(6) 物質平衡と熱平衡	28
(7) 輻射, 光と立体角投射率, 形態係数	31
(8) 感覚量とウェーバー・フェヒナーの法則	33

第2章 快適条件

(田中俊六)

2-1 快適な環境とは	36
(1) 概要	36
(2) 人体生理と室内環境	37
(3) 空気環境の基準	39
2-2 温(冷)熱環境の快適指標	41
(1) 温(冷)熱感覚に影響する要素	41
(2) 快適指標	41
2-3 測定器と測定法	46
(1) 温度の測定	46

(2) 湿度の測定	48
(3) 風速の測定	49
(4) 日射量の測定	50
(5) 光の測定法	51
(6) CO ₂ の測定	51
(7) 粉塵の測定	52
(8) データロガーとマイコンによる計測	52

第3章 日照・日射

(武田仁・田中俊六)

3-1 概説	55
(1) 太陽放射と地球大気	55
(2) 地球の熱バランス	56
(3) 日照・日射の効用	57
3-2 太陽位置	60
(1) 地球の運行と天球	60
(2) 時刻の表し方	61
(3) 太陽位置の計算	63
(4) 太陽位置図とその使用法	65
3-3 日照と日影	66
(1) 日照確保と隣棟間隔	66
(2) 影の位置の計算	68
(3) 日影曲線と日影図・日影時間図	70
(4) 日差し曲線とその応用	74
3-4 日射・長波長放射とその熱量計算法	76
(1) 直達日射と天空日射	76
(2) 大気放射と夜間放射	77
(3) 直達日射量の計算	78
(4) 天空日射量の計算	80
(5) 反射日射量の計算	81
(6) 全日射量	82
(7) 大気放射量、夜間放射量の計算	82
3-5 日射量データとその利用	84
(1) 日射量観測と直散分離	84
(2) 標準気象データ	85

3-6 日照調整	85
(1) 壁体の方位と日照時数, 日射受熱量	86
(2) ガラスと日射透過性能	86
(3) 底とバルコニー	88
(4) ルーバーとブラインド	88

第4章 採光・照明

(足立哲夫)

4-1 光と視覚	90
4-2 測光量とその単位	91
(1) 光束 F	91
(2) 照度 E	91
(3) 光束発散度 R	93
(4) 光度 I	93
(5) 輝度 B	94
(6) 測光量の標準	94
4-3 照明計算の基礎	94
(1) 入射の余弦法則	94
(2) 完全拡散面	94
(3) 反射率, 透過率, 吸収率	96
(4) 拡散率	97
4-4 照度計算の基礎	97
(1) 点光源による直接照度	97
(2) 線状光源による直接照度	98
(3) 面光源による直接照度	99
(4) 間接照度	99
4-5 明視の条件	100
(1) 明視の4条件	100
(2) グレア	102
4-6 屋光光源	103
(1) 直射光	103
(2) 青空光	104
(3) 曇天光	104
(4) 設計用全天空照度	105
4-7 屋光率とその計算法	105

(1) 昼光率	105
(2) 立体角投射率の計算法	107
(3) 採光窓の特性	110
4-8 人工光源	112
(1) 白熱電球	113
(2) 蛍光灯	114
(3) 水銀灯	114
4-9 照明計算	115
(1) 逐点法と光束法	115
(2) 光束法による照明計算	116
4-10 照明方式	118
(1) 全般照明と局部照明	118
(2) 直接照明と間接照明	119
(3) 建築化照明	119
4-11 色彩と色彩計画	119
(1) 色と色の3属性	119
(2) 表色系, マンセル記号	120
(3) 色彩の心理	122
(4) 対比(コントラスト)	122
(5) 色彩の調和と色彩計画	123
 第5章 換気と通風	 (土屋喬雄)
5-1 概要	127
5-2 必要換気量	129
(1) 人体と必要換気量	129
(2) 燃焼器具と必要換気量	130
(3) 有害物質, 熱, 水蒸気発生量と必要換気量	131
5-3 圧力と圧力差	131
(1) 大気圧, 相対圧, 大気基準圧	131
(2) 圧力差と換気量	133
(3) 静圧と動圧	134
(4) 風圧力と風圧係数	134
(5) 温度差による換気	135
(6) 機械換気の圧力差	137

5-4 換気計算の基礎式	138
(1) ベルヌーイの式と連続の式.....	138
(2) 圧力損失.....	139
5-5 換気計算法	143
(1) 一経路の場合の換気計算.....	144
(2) 繰り返し計算による換気計算.....	146
5-6 換気計画	148
(1) 換気計画の原則.....	148
(2) フード.....	148
(3) 建物の種類と換気計画上の留意点.....	149
5-7 自然換気量の測定	150
5-8 気密性と換気量	152
5-9 通風	153
(1) 室内平均風速と通風率.....	153
(2) 通風経路と開口.....	154

第6章 建築伝熱

(武田仁)

6-1 熱伝導と熱伝達	156
(1) 熱伝導による熱移動.....	156
(2) 対流による熱伝達.....	160
(3) 輻射による熱伝達.....	164
(4) 中空層の熱伝達.....	171
(5) 総合熱伝達率.....	173
6-2 定常伝熱と熱貫流	174
(1) 熱貫流率と熱貫流抵抗.....	174
(2) 内外表面温度と内部温度の計算.....	176
(3) 特殊な場合の熱貫流率の計算.....	178
6-3 建物外表面の熱授受	179
(1) 外壁面の熱授受と SAT	179
(2) 開口部の熱授受.....	181
(3) 影のある場合の熱授受.....	187
(4) 日射遮へい係数.....	188
6-4 定常室温の計算法	192
(1) 建物の熱取得, 熱損失, 熱負荷.....	192

(2) 総合熱損失係数 KS	193
(3) 定常室温計算法.....	194
(4) 室温変動率.....	197
6-5 非定常伝熱の計算法	199
(1) 非定常伝熱とその計算法.....	199
(2) 単位応答.....	199
(3) 重み関数法.....	205
(4) レスポンスファクタ法.....	210

第 7 章 湿気・結露

(土屋喬雄)

7-1 湿り空気	219
(1) 概要.....	219
(2) 湿度.....	221
(3) 露点温度と結露.....	222
(4) エンタルピー (h).....	222
(5) 空気線図.....	223
7-2 材料の含湿(水)特性	224
7-3 壁の透湿と結露	225
(1) 定常透湿計算.....	225
(2) 多層壁の湿度分布.....	227
(3) 非定常透湿計算.....	229
7-4 室内の湿度	231
(1) 基本式.....	231
(2) 水蒸気発生量.....	231
(3) 周壁の吸放湿の実測例.....	233
7-5 結露とその防止	235
(1) 表面結露と内部結露.....	235
(2) 結露防止対策.....	237

第 8 章 建築音響

(足立哲夫)

8-1 音	242
(1) 波動の基本式と音圧、粒子速度.....	243
(2) 実効値.....	245
(3) 反射、屈折、回折.....	245

(4) 音の干渉と定在波	246
(5) 音の単位	248
(6) 音レベルの合成と分解	251
(7) 聴感と音の大きさ	253
8-2 室内音響	255
(1) 波動解析の室の固有振動	255
(2) 残響時間と完全拡散音場	256
(3) 吸音率, 吸音力	256
(4) 室内音場と残響時間	257
(5) 最適残響時間	261
(6) 定常状態の音場	262
(7) 室の音響特性の評価法	265
(8) 室の音響効果と室形	266
8-3 遮音	267
(1) 透過損失	267
(2) 遮音の式	268
(3) 床衝撃音	271
(4) 防振の基礎	272
(5) 騒音	274
(6) 騒音の評価	274
8-4 音響材料と構造	280
(1) 音響インピーダンスと吸音率	280
(2) 吸音機構	282
(3) 単層壁の遮音特性 (透過損失)	284
(4) 多重壁の遮音特性	287
索引	292

第1章 概 論

1-1 建築環境工学¹⁾とは

(1) 環境と環境工学

環境とは、人間または生物個体を取り巻き、相互作用を及ぼしあう、すべての外界を意味するもので、大きく**自然環境**と**社会環境**に分けられる。われわれがここで取り扱うのは、主として前者の自然環境と人間との関係である。

人類は古くから、降雨、強風、寒暖、外敵から身を守るために**すみか**を造ってきた。それらは、当初は動物たちの巣と同じように、単に身を守るためのみ、のものであったが、次第に採光のための窓や換気のための通風口など、自然を巧みに利用する工夫が採り入れられ、さらにはより快適な生活空間を求め、自然に対抗して夜間の照明、冷暖房まで持つようになった。

図1-1に示すように、建築は自然環境の中にあるが、われわれが直接、影響を受けるのは**室内環境**である。この室内環境はまた、建物近傍の外気温や風速、日照などによって影響を受ける。このため、**建築環境**は建築そのものとその近傍の環境を含んでいる。また、**都市環境**は自然環境の一部であるが、人間社会の活動によって特殊な環境を形成している。都市環境において、大気汚染、水、土壌の

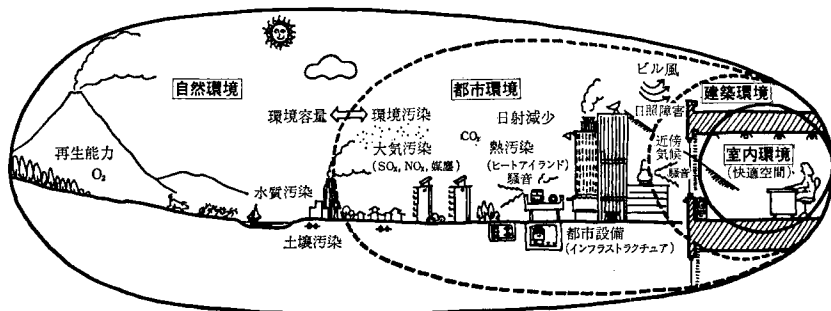


図1-1 自然環境と建築環境

1) architectural environmental engineering

汚染，エネルギー使用や緑の減少，あるいは冷房排熱による熱汚染などの環境汚染は，快適な環境を形成するうえではマイナス要素であるが，上下水道，交通網などの都市基幹設備（インフラストラクチャ）の整備，ヒートアイランド¹⁾による冬季の気温上昇はプラス要素である。

環境工学とは，このような自然環境を利用，制御して安全で快適な生活を確保する技術の総称であり，環境汚染防止，上下水道工学などを含むが，建築では建築環境のみを取り扱う**建築環境工学**を単に環境工学ということがある。図1-2の

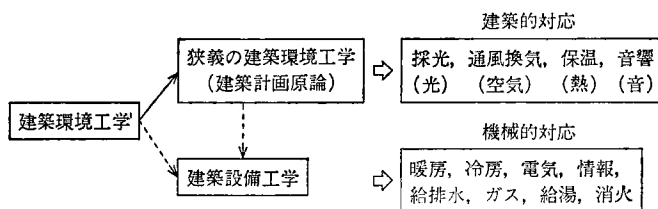


図1-2 建築環境工学の対象範囲

ように，建築環境工学は採光や通風，保温などのように主として建築計画・設計上の対応で快適な空間を得ようとする**狭義の建築環境工学**と，冷暖房設備のような機械力でそれを確保しようとする**建築設備工学**に分けられる。前者は建築計画の一部でもあるが，主としてひらめき，直感で生み出されるデザインとは異なり，理論的に説明でき，量的に取り扱える建築計画の基礎として古くから**建築計画原論**と呼ばれた分野である。この狭義の建築環境工学を最近では単に「建築環境工学」ということが多いため，本書でも以下これにならうものとする。

(2) 建築環境工学と建築計画

建築環境工学は建物に現在のようなさまざまな機械設備が取り入れられる以前は，前述のように「計画原論」と呼ばれて，夏の通風，冬のすき間風防止，自然採光，太陽熱の制御と利用など建築計画の一分野として重要な位置を占めていた。しかしながら，昭和30年代以後，生活水準が向上し，石炭や石油から得られる電気やガスなどの安価で便利なエネルギーが豊富に使用できるようになり，冷暖房や人工照明が容易に行えるようになるにつれ，計画原論の重要性は忘れら

1) これらの熱汚染によって都市の気温が周辺よりも高くなり，これを地図上に描くと中心部が高温な等高線が得られ，島状になるのでヒートアイランドと呼ぶ。

れがちとなった。ややもすると、冷暖房に必要な熱量を計算するうえでの資料を提供するような建築設備工学の基礎理論を扱う分野とみなされることさえあった。

ところが、1974年の石油危機に続く化石エネルギー¹⁾の高騰は、産業界はもとより、われわれの生活、意識に大きな変革をもたらした。建築分野でも例外ではなく、省エネルギー計画が重要な課題となり、「エネルギー使用の合理化に関する法律」(省エネ法)が制定され、住宅の断熱性、ビルのエネルギー使用量に関するガイドラインが出され、実質的に環境工学を無視して建築計画を進めることができなくなった。さらに、積極的に自然エネルギーを利用し、効率のよい機械設備システムを取り入れ、大幅な省エネルギー化を計る「省エネルギー建築」あるいは「ソーラーハウス」などが数多く建てられるようになった。

これらの建築では、窓の大きさや壁体の断熱材の厚さなどはもちろんのこと、平面計画、断面計画、はては階数まで省エネルギー化を指標に建築環境工学の指向するところで決定されることも珍しくない。窓の大きさや種類が建物の年間エネルギーの大小に及ぼす影響は、従来は定性的にしかわからなかったが、最近の

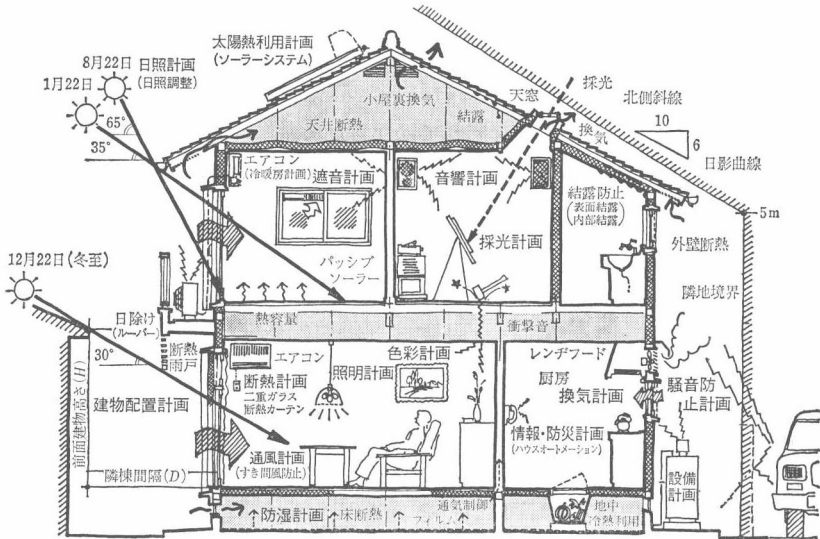


図 1-3 住宅と建築環境工学とのかかわり

1) fossil fuel, 石炭, 石油, 天然ガスなどをいう。

コンピュータシミュレーション技術の進歩により、定量的に把握でき、説得力のあるデータが提供可能となつて、建築環境工学は以前に増して建築計画の中で重要な位置を占めるようになった。

図1-3は住宅を例として、これから学ぶ建築環境工学の全分野を一つの絵に表したものである。図のように、その取り扱う範囲は非常に広いが、それらは基本的に音、熱、空気、光、水（水蒸気）にかかわるものに分類できるので図と対応してよく見てほしい。

一方、図1-4は環境工学と建築計画・設計の関係を示したものである。狭義の

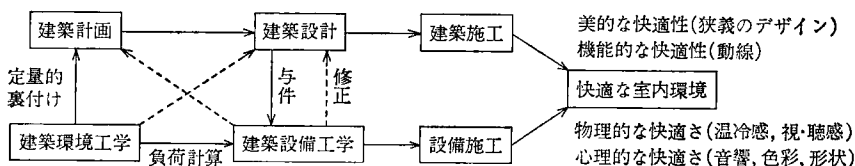


図1-4 建築環境工学と建築計画・設計

建築計画は建築に美的・機能的快適性を、建築環境工学は物理的（生理的）・心理的な快適性を求める。この快適な室内環境を最少のエネルギー利用で達成するのが環境工学の重要な使命である。ただ、それは建築全体からみれば、あくまでも結果であって目的でないことを忘れてはならない。

1-2 建築と自然環境

(1) 概要

だれしも住宅地を購入するとき、価格が同じであれば北面はもちろん、平坦地より南傾斜地を選択する。南傾斜地は前面の住戸の影を受けにくく、より多くの日照を保証してくれる。また多くの場合、冬の北風を受けにくく、夏は朝夕の通風に有利である。ある計算によれば、南傾斜地の住宅の暖房負荷は平坦地のそれよりも17%少なく、谷部のそれより42%少ないといわれる。また、傾斜地はがけ崩れでもない限り、雨水・汚水の

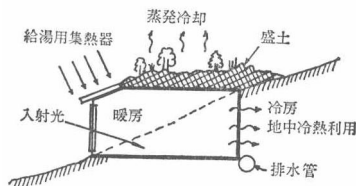


図1-5 半地中住居

排水の点でも好ましい。最近では機械を使わないパッシブソーラーハウスの一形態として図 1-5 のような半地中住居がアメリカの北西部を中心に数多く建設されている。これらの住宅では、暖房時は南窓から入る日射熱で室内がほとんど補助暖房なしに快適な温度に保たれ、夏季も土の冷熱で冷房ができ、給湯は太陽熱給湯装置でカバーされているといわれる。

一方、昔から日本の住宅はヨーロッパの石造の閉鎖形の住宅と対比して、南方系の木造、開放形の住宅であるといわれる。これは日本の夏の多湿な気候と、生命に危険なほどは寒くない冬の気候に合わせたものといえる。密閉の悪い住宅の欠点をカバーする手段として北関東などの防風林、秋田などの雪囲いはよく知られている。

このように、自然環境が住居の形式や生活様式に大きく影響することはいうまでもない。自然環境は基本的に気候的環境と地理的環境に分けられる。気候的環境とは寒暑、風雨など一定地域の自然であり、気温、湿度、雨、風、気圧、日照などを気候要素¹⁾と呼ぶ。一方、地理的環境とは平野とか高地とか傾斜地、沿岸地などその土地の地理的な位置であり、これらを気候因子²⁾という。ヒートアイランドのような都市環境による気候要素への影響も気候因子の一つとみることができる。

(2) 空気と水の性状

空気は表 1-1 のように容積比で、窒素約 78%，酸素 21%，その他の微量成分 1

表 1-1 乾燥空気の組成（気象定数）

成分	窒素	酸素	アルゴン	炭酸ガス	ネオン	ヘリウム	クリプトン	水素	キセノン	オゾン	ラドン
記号	N ₂	O ₂	A	CO ₂	Ne	He	Kr	H ₂	Xe	O ₃	Rn
分子量	28.016	32.0	39.944	44.01	20.183	4.003	83.7	2.016	131.3	48.0	222.0
容積(%)	78.09	20.95	0.93	0.03	1.8×10^{-3}	5.24×10^{-4}	1.0×10^{-4}	5.0×10^{-5}	8.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	6.0×10^{-18}

%を含む混合気体である。窒素は、通常は不活性ガスであるが、燃焼ガスの中ではごく一部が酸素と化合して、燃料中の窒素分とともにいわゆる窒素酸化物(NO_x)となって大気汚染物質を形成することがある。酸素は動物の体内で各種の栄養分と結合し、運動と熱エネルギーを発生（代謝という）し、二酸化炭素

1) climatic element 2) climatic factor