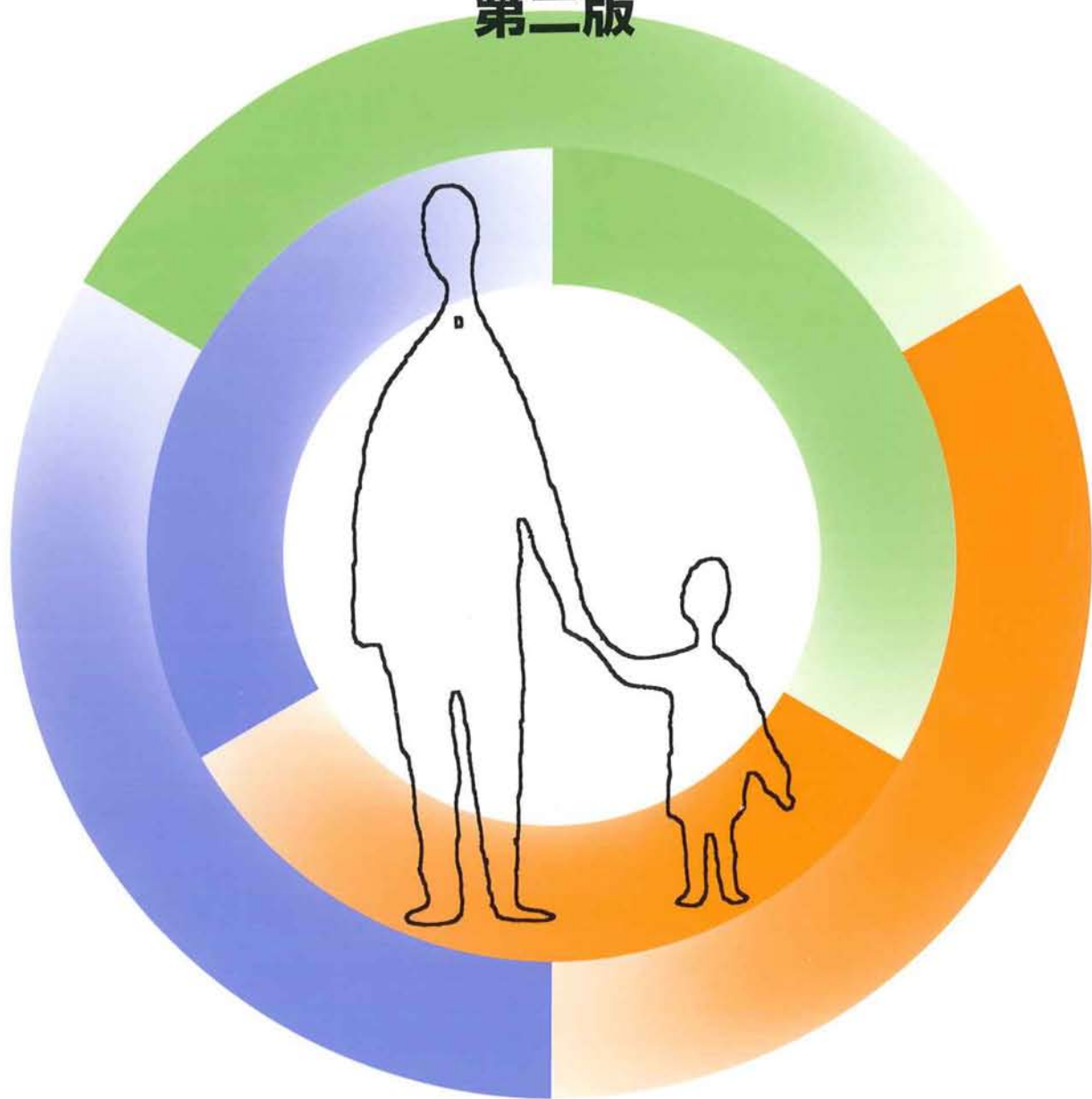


環境工学 教科書

第二版



環境工学教科書研究会編著

彰国社

編集委員

射場本忠彦（東京電機大学）
岩瀬昭雄（新潟大学）
加藤信介（東京大学生産技術研究所）

執筆者（執筆順）

赤坂 裕（鹿児島大学）
加藤信介（東京大学生産技術研究所）
久野 覚（名古屋大学）
吉田治典（京都大学）
森川泰成（大成建設技術センター）
射場本忠彦（東京電機大学）
郡 公子（宇都宮大学）
小峯裕己（千葉工業大学）
堀越哲美（名古屋工業大学）
田辺新一（早稲田大学）
須永修通（首都大学東京）
井上 隆（東京理科大学）
奥宮正哉（名古屋大学）
平手小太郎（東京大学）
宿谷昌則（武蔵工業大学）
池田耕一（国立保健医療科学院）
小林信行（東京工芸大学）
倉瀬 隆（東京理科大学）
内海康雄（宮城工業高等専門学校）
近藤靖史（武蔵工業大学）
松本 博（豊橋技術科学大学）
赤林伸一（新潟大学）
吉野 博（東北大学）
早川 眞（日本大学）
持田 灯（東北大学）
岩瀬昭雄（新潟大学）
吉久光一（名城大学）
藤本一壽（九州大学）
翁長 博（近畿大学）
矢野博夫（千葉工業大学）
安藤 啓（鹿島建設技術研究所）

まえがき

誰が言い出したのか「環境にやさしい……」というキャッチフレーズがある。お為ごかしの業界用語とも取れるが、言い得て妙なコピーで、環境を地球に差し替えても無理なく受容できる。分かったようで分からない物言いで、例えば「環境にやさしい建築」と置いても、もっともらしく感じさせるから怖いところがある。

もともと“環境”といった文言自体がオブラートの要素を含んでいるせいでもある。本書で扱う「建築環境」においても、建築が作り出す空間を言ったり、建築を包む空間を言ったり、あるいは風土や文化も環境と言ったりしている。本来は、何を取りまく環境を言っているのか、また環境の境界がどこにあるのかを明確にすべきところであろうが、日常生活におけると同様に、建築環境でも曖昧さを残しておいた方が便利な場面が多い。

建築環境の基本は「人にやさしい環境」を提供することにある。人にやさしい環境とは、まず安全な環境、ついで不快でない環境、さらには快適な環境である。これら環境の提供を簡便に無理なく、しかもいかに省エネルギー的に形成するか、すなわち「地球にやさしい建築環境」を適切に提供できるかが、建築環境の工学的妙味でもある。しかしながら、建築環境と一口に言っても、様々な要因が複雑に絡み合った結果として、ある環境状態が作りだされており、しかも同一空間といえども時々刻々変化しているので、一つとして同じ環境状態はあり得ない。建築環境を形成する要因を挙げると、人体に関する諸要因、熱に関する諸要因、光に関する諸要因、空気に関する諸要因、音や振動に関する諸要因、建築材料に関する諸要因、建物そのものに関する諸要因、建築設備に関する諸要因、地球や風土に関する諸要因、文化や経済に関する諸要因、などに分類できる。

そもそも、これら諸要因の複雑な組合せから生み出される環境は、そのなかに存在する人々に意識されない（させない）方が一般に良い（高級技術）とされている。したがって、存在する人々が周囲の建築環境について何も知らなくても、あるいは慣れすぎて何とも思わなくなっていくように、それはそれで評価されるが、環境を創造する側の立場からは環境を形成している各種機能の把握が必要である。

本書は、主としてこれから建築を学び、建築および建築環境を創造することになるであろう建築系の学生（専門分野は問わない）を対象に、建築環境全般を平易に解説するものであるが、知識だけにとどまらず、ものの見方、考え方を学んで頂きたいと意図して企画したつもりである。その意味では、とりわけ建築計画や建築設計の実務者に対する「建築環境工学・再入門」の書としての価値も高いと考えている。

言うまでもなく、誰もが建築および建築環境と毎日少なからぬかかわりを持っているのであるから、「環境形成のしくみ」も体験の記憶の中に秘めている。ぜひ日頃から好奇心を絶やさずに観察力を養って頂きたい。

本書が、建築環境工学の本質の理解を助け、ひいては「地球にやさしい建築」に恥じない高い性能を有する建築が実現されるきっかけにでもなれば、筆者らの望外の幸せである。

しかし、最新の研究成果や情報、また大局を見据えた思考方法等を内容に盛り込みたいとの願いから、研究や各種委員会等で大変多忙に活躍されている方々ばかりに無理に執筆をお引き受け願った経緯もあって、上梓の足並み違いによる調整不足が残ってしまった部分も多々あるのではないかと心配している。読者諸氏のご叱責、ご意見を頂ければ大変有り難いと思っている。

最後に、本書への図、表の引用を快諾して頂いた引用文献の各出版社および著者各位、ならびに本書の編集に当たりご尽力を頂くと共に、原稿収集で始終ご迷惑をお掛けした彰国社書籍部の方々に深謝の意を表します。

1996年2月

射場本忠彦
（編集委員）

この「環境工学教科書」も上梓してから4年が経過した。その間、なかなか使い易いとお褒めの言葉を頂くこともあって、編集委員の一人として素直に喜んでる。これもひとえに、無理を曲げて執筆して下さった先生方のおかげと心から感謝している。また本書は、3年前に韓国語に翻訳され、同じ装丁のまま韓国で出版された。隣国の学生や建築技術者にも本書が利用されることで、世界共通の課題である地球環境保全に対する見方や考え方が、共通のベクトルとなって浸透し、幾らかでも問題解決のお役に立てれば、ご同慶の至りである。

さて、今般、音に係わるJIS改訂に伴う表記法の修正など、多くの場面でSI単位への移行が進行しつつあることもあって、単位の修正を行うとともに、必要箇所を修正して、改めて第二版として出版することとなった。前版に対しご意見やご指摘を頂いた読者の方々には勿論、改訂にあたり時間を割いて頂いた先生方に深く感謝する次第である。

また、今後も引き続き読者諸氏のご叱責、ご意見を頂戴できれば有り難いと思っている。

2000年6月

射場本忠彦
(編集委員)

執筆分担

I編

赤坂 裕 1章
加藤 信介 2章
久野 覚 3章
吉田 治典 4章
森川 泰成 5章

II編

射場本忠彦 1章
郡 公子 2章
小峯 裕己 3章
堀越 哲美 4,5章
田辺 新一 6章
須永 修通 7,8章
井上 隆 9章
奥宮 正哉 10章

III編

平手小太郎 1,3章
宿谷 昌則 2章

IV編

池田 耕一 1章
小林 信行 2章
倉淵 隆 3章
内海 康雄 4章
近藤 踏史 5章
松本 博 6章
赤林 伸一 7章
吉野 博 8章
早川 眞 9章
持田 灯 10章

V編

岩瀬 昭雄 1,11章
吉久 光一 2,4,5章
藤本 一壽 3,9章
翁長 博 6,7章
矢野 博夫 8,14章
安藤 啓 10,12,13章

目次

まえがき 3

I 総論・建築環境

1 風土と暮らしと建築環境	10
日本の風土 / 風土と住居 / 気温と暖冷房による消費エネルギー / 気温と湿度の年変化 / 気象の観測と気象のデータ / パッシブデザインの概要	
2 建築環境制御と建築部位	16
建物の性能 / 建物性能確保のための環境制御目標 / 物理環境制御の原則 / 物理環境の制御法 / 建物部材と環境制御	
3 人間の生理・心理と建築環境	23
人間と環境 / 人間の心と身体 / 保健と快適 / 環境の分類 / 感覚 / 複合環境の影響 / 社会環境と人間	
4 地球と都市と建築環境	26
室内環境と外界 / 地球環境と建築 / 都市環境と建築 / 環境共生建築・都市	
5 建築環境のシミュレーション	33
光環境シミュレーション / 音環境 / 熱環境 / 都市環境 / 広域環境 / 今後の環境シミュレーション	

II 熱環境

1 温度と熱移動	40
ポテンシャルと熱の流れ / 熱移動の形態	
2 室温と熱負荷	54
室内外の熱の出入りと室温 / 建物の熱特性と室温 / 間欠暖房と蓄熱負荷	
3 断熱と気密と結露	60
結露 / 断熱性能向上の意義 / 断熱構法や使用建材に関する注意事項 / 高气密の意義	
4 環境と人体との熱平衡	65
環境の物理的条件と人間 / 人体と環境との間の熱平衡式	
5 温熱環境の計測	69
各環境条件の計測 / 各種温感計器	
6 温熱環境と設計目標	74
人体の熱平衡と温熱環境の6要素 / 建築基準法およびビル管理法 / 温熱環境指標 / 快適温度 / 局所不快感 / 冷房・暖房	
7 太陽の動き	78
太陽と日射 / 地球の動き、太陽の動き / 建物の各面が受ける日射量の違い / 太陽位置の求め方 / 太陽位置図 / 敷地における方位の計測方法	
8 影と日照	82
日影曲線 / 日影図、日影時間図 / 建物形状による影のつき方の違い / 終日日影、永久日影 / 日照の検討方法 / 南北隣棟間隔と日照時間	

9	日射の利用と遮蔽	88
	日射の強さ / 日射の取得性能・遮蔽性能 / 日射の利用と遮蔽の工夫	
10	太陽放射と地球放射	94
	太陽放射 / 地球放射 / 相当外気温度 / 実効温度差	
III 光環境		
1	照明の基本的考え方	100
	視覚 / 照明の概念 / 明視条件の確保 / 演出の要素 / 照明に要求されるその他の重要な要件 / 照明設計の手順	
2	昼光照明と電灯照明	112
	照明の方法 / 光の振舞いを表現する方法 / 光源の性質 / 照明計算の方法	
3	色彩計画の基本	123
	色の表示 / 色の効果 / 色彩計画	
IV 空気環境		
1	室内の空気質	130
	換気とは / 換気および室内空気質に関する歴史と今後の換気研究の課題	
2	汚染質濃度と換気	134
	瞬時一様拡散 / 室内濃度と必要換気量 / 濃度測定による換気量の測定	
3	換気と通風の力学	138
	圧力の表示法 / 流れの基礎式 / 外部風および温度差による圧力 / ダクト系の圧力損失と圧力分布 / 換気風量の計算法	
4	室内気流と換気の効率	144
	換気の効率とは / 換気効率の表し方 / 測定方法 / 応用と測定例	
5	室内の温度分布	148
	室内に温度分布が生じる原因 / 温度分布と気流分布 / 良好な温度分布を実現するための工夫 / 温度分布を利用した省エネ的空調 / 温度分布を予測する方法	
6	換気の計画	153
	換気計画の前提条件 / 換気計画の基本的な考え方 / 換気計画の実際	
7	通風の計画	158
	通風の目的 / 風の性状 / 建物周囲条件と通風量 / 通風時の室内気流分布 / 窓の配置と通風 / 通風と人工環境	
8	気密性能と換気	162
	気密性能とは / 気密性能の表示 / 床面積当たりの隙間の相当開口面積の測定例の既往の基準 / 気密性能に影響を及ぼす因子 / 気密性能と自然換気量	
9	高層建物と煙突効果	165
	煙突効果とは / 煙突効果と圧力差 / 出入口からの外気の大量流入と対応策 / 外壁からの漏気 / 超高層住宅における吹抜けの換気	
10	風環境	167
	市街地に吹く適度な風 / 強風による風環境障害 / 風環境の評価 / 強風対策	

V 音環境		
1	快適な音環境の形成	170
	音と人間, 建築とのかかわり / 良い音環境の基本 / 音環境形成にかかわる学問体系	
2	物理音響学の基礎	172
	音波 / 音波の記述 / 音波のエネルギー的取扱い / レベル表示	
3	聴覚と音の生理・心理	174
	耳の構造 / 音の心理的三属性 / 純音の等ラウドネス曲線 / マスキング / カクテルパーティ効果	
4	音の伝搬	177
	距離減衰 / 音波の反射・屈折・回折 / 空気の音響吸収	
5	室内音響学の基礎	180
	音のエネルギーの反射, 吸収, 透過 / 室内の音場 / 残響	
6	吸音と吸音材料	182
	吸音機構の種類と特性 / 設計・施工上の注意	
7	遮音と遮音材料	185
	単層壁の遮音特性 / 二重壁の音響透過損失 / 総合透過損失	
8	室内音響の計画と設計	188
	基礎事項 / 室形状と内装計画	
9	騒音の計測と評価	192
	サウンドレベルメータ (騒音計) / SN比 / 騒音レベルの測定方法 / レベルレコーダ / 周波数分析 / 室内騒音の許容値 / 騒音の環境基準	
10	騒音対策	195
	騒音対策の基本 / 配置計画と平面計画 / 床衝撃音 / 空調設備の騒音対策	
11	建築音響計測と評価	198
	無響室と残響室 / 音響透過損失の測定 / 吸音率の測定 / 残響時間の測定 / 空気音遮断性能と床衝撃音発生レベルの測定	
12	振動の影響と計測評価	201
	建築で扱う振動 / 人体の振動感覚器官 / 方向別振動感覚 / 国内外の規格 / 計測方法 / 評価方法	
13	振動と固体音の防止技術	204
	振動発生源 / 固体音 / 地盤振動電機特性 / 防振設計 / 防振材料	
14	音環境の制御	207
	可変吸音板・壁 / 残響付加装置 / 拡声装置 / アクティブノイズコントロール	

7 太陽の動き

太陽は地球上のエネルギーの根源であり、建築の光環境にも熱環境にも、そしてまた人間の健康や心理にも多大の影響を与える。熱環境計画を例に取れば、夏季には強烈な日射熱を室内に入れず、冬季には逆に日射を室内に取り入れ暖房効果を得る工夫をする必要がある。太陽が動くことによって建物にどのように日が当たり、その結果、建物内外の環境がどのようになるのかを十分に理解することが、建築の設計にはぜひとも必要である。建物のデザインによって自然のエネルギーを有効に活用し、快適な環境を創造することが建築設計の基本である。

7.1 太陽と日射

太陽は、半径 696,000 km の巨大な光源(放射エネルギー源)である。主に光環境に関係する太陽の

表 7-1 太陽の諸定数¹⁾

光度	2.9×10^{27} cd
輝度	1.9×10^9 cd/m ²
全発散光束	3.6×10^{28} lm
大気外日光法線照度(平均)	1.3×10^5 lx
色度(x, y)	(0.317, 0.326)
相関色温度	6280 K
太陽定数	1.37 kW/m ²
全放射量	3.8×10^{26} W
放射の視感度	93.7 lm/W
半径	6.960×10^8 m
視半径(平均)	16'00"
質量	1.99×10^{30} kg
地球太陽間の距離(平均)	1.4960×10^{11} m
// (近日点)	1.4710×10^{11} m
// (遠日点)	1.5210×10^{11} m

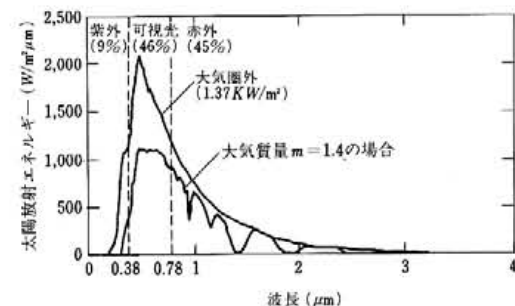


図 7-1 太陽エネルギーの分光分布²⁾

定数を表 7-1 に示す。このうち、太陽定数は、地球の大気圏外に到達する太陽放射エネルギーの平均値で、 1.37 kW/m^2 とされている。太陽放射は、図 7-1 のようにおよそ $0.2 \sim 3.0 \mu\text{m}$ の波長範囲にあり、可視域 ($0.38 \sim 0.78 \mu\text{m}$) と赤外域に約 45% ずつ分布している。地上に到達するのは、大気層内での吸収、散乱などの影響により $0.3 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 程度の波長範囲となる。

7.2 地球の動き、太陽の動き

地球は、平均距離およそ $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ の円に近い楕円軌道で太陽の周りを公転している。ただし、図 7-2 のように地軸は公転軌道より常に $23^\circ 27'$ 傾いている。この傾きが四季を生み出すわけであるが、地上から見た太陽の動きを複雑にする原因でもある。

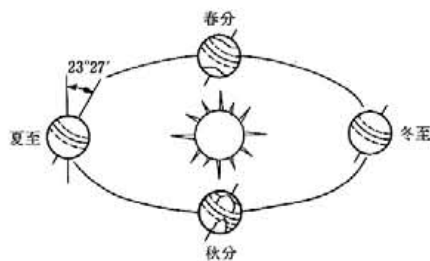


図 7-2 地球の公転軌道と地軸の傾き

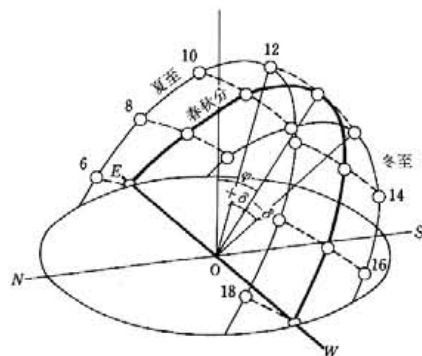


図 7-3 太陽の動き(季節による違い)³⁾

一方、地上のある点から見た季節による太陽の動きの違いを示したものが図 7-3 である。春秋分には太陽は真東から出て真西に沈むが、夏には真東より北側から出てかなり高く上がって真西より北側に沈む。冬には、日の出・日没の地点は南側に寄り、日中の高さも低くなる。

建築計画では、対象とする地点を中心に太陽が動くと考えた方が便利である。そこで、上記のような太陽の動きを理解するために、地上のある点を中心に球を仮想し、その球面上を太陽が動き、その軌跡が太陽の軌道であるとする。この球を天球という。図 7-4 に天球上における夏至、春秋分、冬至の太陽の動きを示す。図 7-5 は、図 7-4 を真西から見たもので、北半球の緯度 φ の地点の太陽の日周軌道を示したものである。これらの図から、図 7-3 の季節による太陽の動き(天球上の軌道)の違いが理解できる。

また、太陽が真南にくることを「南中する」というが、南中時の太陽高度(太陽を地表面から見上げる角度) h は、図 7-5 から、その地点の緯度を φ とす

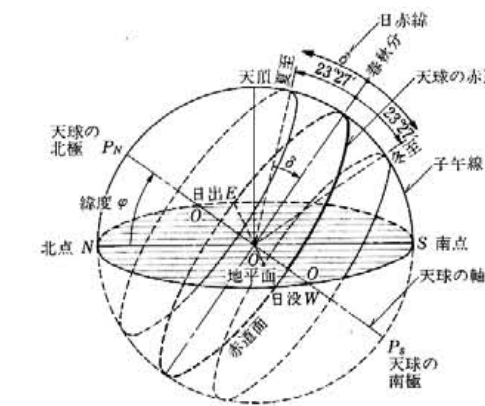


図 7-4 天球上の太陽の動き⁴⁾

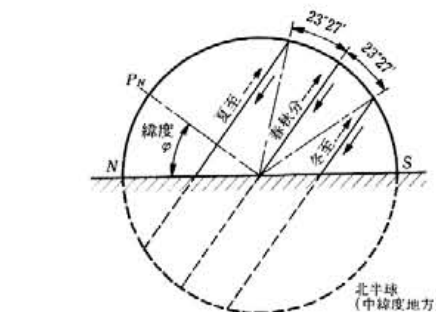


図 7-5 太陽の日周軌道⁵⁾

ると、春秋分には $h = 90^\circ - \varphi$ 、夏至・冬至には $h = 90^\circ - \varphi \pm 23.5^\circ$ になることが理解できる。東京(緯度を 35.4°) を例にとると、南中時の太陽高度は、夏至には 78° にもなるが、冬至では 31° と低いことが容易に計算できる。

7.3 建物の各面が受ける日射量の違い

太陽の動きは図 7-3 のように季節によって異なるが、これにより建物の各面が受ける日射量が季節によって大幅に異なる。図 7-6 は、東京の夏至と冬至における水平面および各鉛直面の受ける日射量の違いを比較したものである。夏至には、水平面(屋根面)の受ける日射量が強烈であるとともに、東西面も非常に多くの日射を受ける。夏季の暑さをしのぐためには、これらの面の日射遮蔽が重要である。また、冬至には、南鉛直面の受ける日射量は水平面より多い。したがって、冬季の日射熱利用の効果は、水平面よりも南面の方が高いことが分かる。

7.4 太陽位置の求め方

(1) 定義と計算式

建物内外への日射による影響を把握するためには、太陽がどの方向にあるかを正確に知る必要がある。

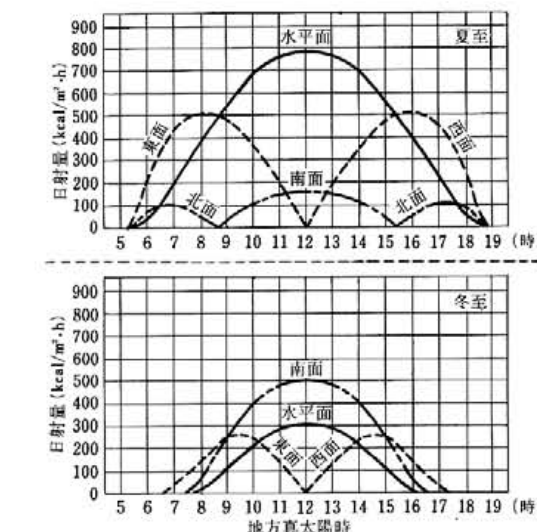


図 7-6 水平面および鉛直面が受ける直達日射量の違い(東京)⁶⁾

り、明るさ感はそのとき順応している輝度との相対的な感覚だと考えられる。また、均等拡散面（すべての方向からの輝度が同じ理想的な面）上のある点の輝度は、照度と反射率との積に比例する。

明るさの対比に関係する指標として輝度対比があり、明るい方の面の輝度を L_b 、暗い方の面の輝度を L_d とすると、輝度対比 C は以下のように定義される。

$$C = \frac{L_b - L_d}{L_b} \quad (L_b > L_d) \quad (1.1)$$

注視点はたえず移動しており、目の順応状態はそれに依りて変化している。輝度分布の変化が大きいと、目の不快感、疲労を生じさせる。したがって、輝度分布もある程度均一であることが望ましい。視野内に輝度の著しく異なる部分があると、目は注視点に順応できず視力が低下する。これの顕著な場合が後述するグレアとなる。視対象より周囲の輝度が低い場合には視力がそれほど低下しないのに対し、周囲の方が明るいときには著しく視力が低下する。輝度分布の指標としては、単純な輝度比（これを輝

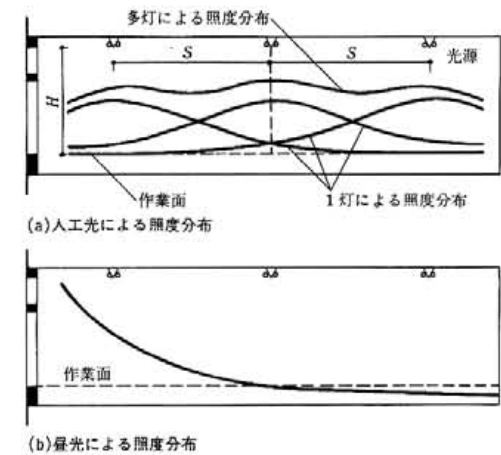


図 1-6 室内照度分布例¹⁹⁾

表 1-4 推奨照度比¹⁹⁾

条件 (いずれも水平照度)	推奨照度比
全般照明時の最小照度と平均照度の比	0.6 以上
隣接する室間、室・廊下間の照度の比 (ただし、低い側の平均照度が 200 lx 以上の場合はこの限りでない)	1/5 以上 5 以下
補助照明使用時の補助照明単独の最大照度と室内の平均照度 (補助照明を含まない) の比	3 以下
側窓採光時の最小照度と最大照度の比	1/10 以上

度対比と呼ぶこともあるので注意) が用いられる。アメリカのオフィスにおける輝度分布 (輝度比) の許容値を表 1-5 に示す。欧州では、輝度自体は扱われず、推奨値としては照度と反射率で表現されている。日本のオフィスでは、適当な輝度分布を与えるものとして、まず色彩計画において、表 1-6 に示すような各部の推奨反射率を定めている。また、光の配分は、各部の反射率を考慮して決定し、種類の照明器具で適切な輝度分布が得られない場合には、専用照明器具の付加、照明器具や窓などの高輝度部分の規制が必要になる。

(5) グレア

視野内の高輝度の点・面あるいは極端な輝度対比などにより引き起こされた視力低下や、目の疲労・不快感などの障害をグレアといい、位置関係の観点から、視野内に直接目に入る直接グレアと反射によ

性状	光の透過の仕方	室内のおおよその照度分布	窓の材料
透明			透明ガラス、磨き納入ガラス、透明クリライト、透明吸熱ガラス、透明二重ガラスなど
半透明			型板ガラスの一部、普通納入ガラス、レース、カーテン、すだれなど
半拡散			型板ガラスの一部、曇りガラス、摺りガラス、ガラスブロック、異形ガラスなど
拡散			乳白色ガラス、乳白色プラスチック、カーテン、障子紙など
指向性			指向性ガラスブロック、デッキガラス、プリズムガラス、ガラスチューブ、ルーバー、ベネチアンブラインド、よろい戸など

図 1-7 窓ガラスの種類とその特徴⁴⁾

る反射グレアに分けられる。また機能上の観点からは、見やすさを損なう減能グレアと、不快感を引き起こす不快グレアに分けられる。グレアの直接的要因は、グレア源および視野内の輝度であり、図 1-8 に示すように、グレア源の位置、見かけの大きさ、数に関係する。東洋人の黒い目よりも欧米人の青い目の方がまぶしさに弱いという事情から、欧米の照明設計では、グレアの低減の必要度が高く、照度の確保と同等に重要な問題となっている。

反射性の視対象面またはその近傍に光源の反射映像が写り、その反射光によって生ずるグレアを反射グレア、視作業対象面内で輝度対比を減じ、視認性を低下させる。正反射、指向性の強い拡散反射による光が見る対象と重なり、あたかも光の幕ができたように見える現象を光幕反射という。

直接グレアの防止については、前方視野角 30°以

表 1-5 オフィスにおける輝度分布の許容値¹⁹⁾ (アメリカ)

条件	輝度比の許容値
視対象：そのすぐ周囲	3 : 1
視対象：少し離れた暗い面	10 : 1
視対象：少し離れた明るい面	1 : 10

表 1-6 オフィスにおける推奨反射率²⁰⁾

部位	推奨反射率
天井面	0.6 以上
壁面 (パーティションを含む)	0.3~0.7
床面	0.1~0.3
机上面	0.3~0.5
什器	0.25~0.5

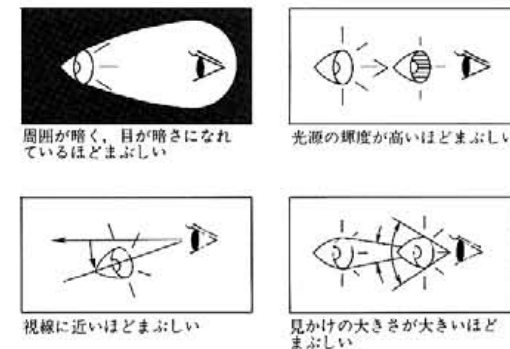


図 1-8 グレアの程度を左右する条件⁶⁾

内に高輝度光源を露出させないことが基本となる。窓の場合はブラインドなどを利用し窓面の輝度を下げることになる。一般に照度が高くなるとグレアも大きくなるので、均衡点を求めるか、器具・設備的に対処する必要がある。反射グレア、光幕反射については、図 1-9 のように視対象面で視線方向に、正反射する方向に照明器具などを配置しないことが有効である。

グレアの評価方法は各国で様々な方式があるが、日本では、光源の方向別の輝度制限による方法を用いている。特に反射グレアが問題となる VDT 作業の場合、照明器具の輝度制限については、図 1-10 に示すように映り込む照明器具の範囲から、表 1-7

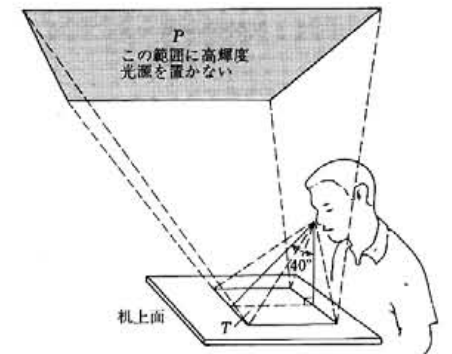


図 1-9 光幕反射を生じさせない光源の位置¹¹⁾

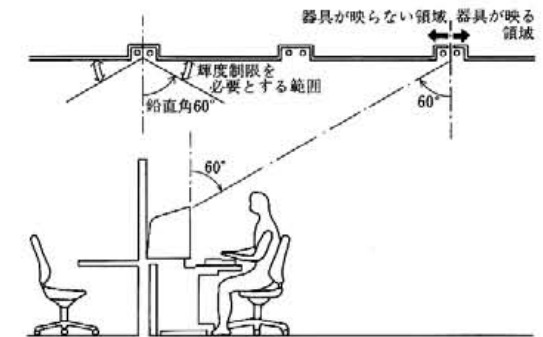


図 1-10 VDT 画面に映り込む器具の位置

表 1-7 グレア防止のための照明器具の輝度制限 (V 分類)²⁰⁾

分類	鉛直角	
	60°から 90°の範囲において	
V 1	50 [cd/m ²] 以下	
V 2	200 [cd/m ²] 以下	
V 3	2,000 [cd/m ²] 以下 (1,500 [cd/m ²] 以下が望ましい)	

4 室内気流と換気の効率

4.1 換気の効率とは

換気は室内空気を清浄に保ち、人間の健康を守るために行われる。例えば、空調設備を持つ建物内では、表4-1のような基準に基づいて、室内の汚染物質濃度を基準濃度以内にするように換気設計がなされる。ここで二酸化炭素そのものは汚染質ではないが、人体や燃焼器具から他の汚染質と共に発生するので汚染の指標として広く用いられている。また温度、相対湿度、気流は熱環境の快適性を保つために設定されている。

換気設計は、すでに述べられたように瞬時一様拡散が基本であり、汚染物質濃度は室内の至るところで同じという仮定に基づく。しかし、実際には部屋ごとに換気条件が異なる。例えば、吹出し風速と温度の違いにより、図4-1のように空気の流れの分布が異なってくる。図4-2は床中央から汚染質が発生しているときに吸込み口の位置を変えた場合の汚染物質濃度の変化を示している。気流性状の分布が汚染物質の濃度分布へ影響を与えているのが分かる。

室内での人間の活動範囲である居住域（各壁面から0.6m内側で床面より1.8mまでの空間）の空気の汚染物質濃度を基準値以下にするためには、室内の汚

染質の分布性状を知らねばならない。つまり室内各点の空気の入れ替わり方が違うために汚染物質濃度分布が異なるので、換気の効率を考えねばならないことになる。図4-3に示すように、室内の空気には室に入ったばかりで汚染の少ない空気と長い時間室内にあって汚染の進んだ空気がある。これらの空気の違いを扱うのが、換気効率である。

4.2 換気効率の表し方

換気の効率にはいくつかの考え方があるが、こ

表4-1 建築物環境衛生管理基準

基準項目	建築物環境衛生管理基準 (1971年制定)
浮遊粉じんの量	空気1 m ³ につき0.15 mg以下
一酸化炭素の含有率	10 ppm (厚生省令で定める特例ではその数値)以下
二酸化炭素の含有率	1,000 ppm (0.1%)以下
温度	1. 17°C以上28°C以下 2. 居室内温度を外気温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと
相対湿度	40%以上70%以下
気流	0.5 m/s以下

- 1) 建築基準法においても同様に定められている。
- 2) 事務所衛生基準規制においては、中央管理式空調設備を有する場合は吹出し口のところで表の値、それ以外の場合には一酸化炭素は50 ppm以下、二酸化炭素は5,000 ppm以下、10°C以下の場合には暖房することなどが定められている。

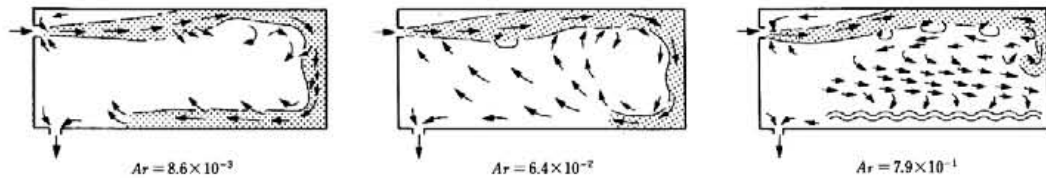


図4-1 アルキメデス数 Ar*による流れのパターンの変化¹⁾

* アルキメデス数は空気の浮力と慣性力との比を表している。値が小さければ吹き出し風速が流れの分布を支配し、大きければ浮力が流れを支配する。

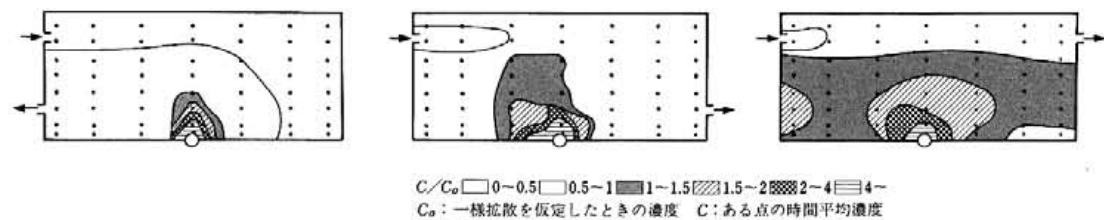


図4-2 吸込み口位置による濃度分布の変化²⁾

C/C_0 □ 0-0.5 □ 0.5-1 ■ 1-1.5 ▨ 1.5-2 ▩ 2-4 ▧ 4-
 C_0 : 一様拡散を仮定したときの濃度 C: ある点の時間平均濃度

では AIVC (建物の漏気と換気に関する研究センター) による換気効率³⁾を述べる。図4-4のように一つの室に一つずつ吹出し口と排気口がある場合を考える。このとき、空気が吹出し口から室内のある点Pまでに来る時間のことを空気齢と呼ぶ。点Pで呼吸する場合、空気齢が小さければ新鮮空気を早く呼吸できる。また、点Pにあった空気が排気口に至るまでの時間を余命と呼ぶ。この点Pが汚染質の発生源の場合、余命が小さければ汚染質を早く排出できる。そして吹出し口から排気口に至るまでの時間を空気寿命という。これら三つには次の関係がある。

$$\text{空気寿命} = \text{空気齢} + \text{余命}$$

空気齢は次のようにして求める。まず室内の点Pにおける微小空間 δV と時刻 $t=0$ で室内に流入する空気の小さな塊を給気ダクト内を考える。この塊中のいくつかの空気分子は点Pを通過するが、経路が違うので図4-5のように、点Pに到達する分子数は時間と共に変化する。時間 t と $t+\delta t$ の間に点Pに到達する分子数は

$$F_p(t) = \int_0^t A_p(t) \delta t \quad (4.1)$$

$$\text{斜線部の面積} = A_p(t) \cdot \delta t$$

時刻0からtまでに到達する分子総数は



図4-3 新しい空気と古い空気³⁾

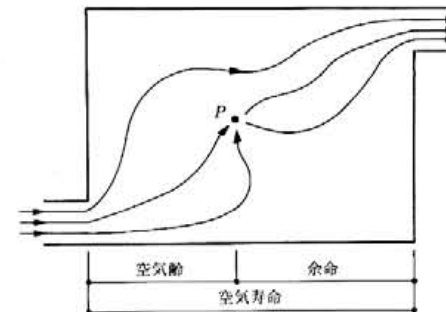


図4-4 空気齢の考え方

したがって、無限時間にわたっては、点Pに到達する分子総数は

$$\int_0^{\infty} A_p(t) \delta t = \text{度数分布曲線の下面積} = 1 \quad (4.2)$$

ここで、度数分布は点Pに到達する分子総数に対する比で表される。

空気が吹出し口から点Pまで来る平均時間を局所空気齢 $\bar{\tau}_p$ と呼ぶ。これは図4-5の縦軸回りのモーメントから求められる。上式を考慮すると分母が1になるので、

$$\bar{\tau}_p = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot A_p(t) \delta t}{\int_0^{\infty} A_p(t) \delta t} = \int_0^{\infty} t \cdot A_p(t) \delta t \quad (4.3)$$

局所空気齢 $\bar{\tau}_p$ を室内全体で平均すれば室平均空気齢 $\langle \bar{\tau} \rangle$ となる。

4.3 測定方法

空気齢の実測は空気に混入したトレーサーの到達により行い、トレーサーガスの発生方法に応じて、パルス法、ステップダウン法 (減衰法)、ステップアップ法の3通りがある。パルス法ではトレーサー

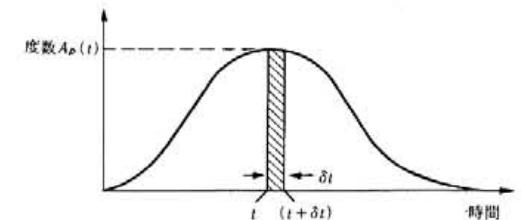


図4-5 任意の点に到達する空気の度数分布曲線