

■ S. V. ショコレー 原著

建築 環境科学ハンドブック

■ 尾島 俊雄

円満 隆平

森山 正和

大野 治代

足立 哲夫

斎藤 忠義

小林 信行

根津 浩一郎

武田 仁 ■ 共 訳



森北出版株式会社

S.V. ショコレー原著

建築 環境科学ハンドブック

尾島 俊雄

円満 隆平

森山 正和

大野 治代

足立 哲夫

斎藤 忠義

小林 信行

根津浩一郎

武田 仁

共訳

森北出版株式会社

訳 者 紹 介 (訳出順)

尾島俊雄 (おじま・としお)
早稲田大学理工学部建築学科教授・工博
円満隆平 (えんまん・たかひら)
文化学院建築学科講師
森山正和 (もりやま・まさかず)
神戸大学工学部環境計画学科講師・工博
大野治代 (おおの・はるよ)
大阪大学工学部建築工学科助手・工博
足立哲夫 (あだち・てつお)
工学院大学建築学科助教授
斎藤忠義 (さいとう・ただよし)
国士舘大学建築学科助教授
小林信行 (こばやし・のぶゆき)
東京工芸大学建築学科助教授
根津浩一郎 (ねづ・こういちろう)
早稲田大学専門学校講師・工博
武田 仁 (たけだ・ひとし)
東京理科大学建築学科助教授・工博

建築 環境科学ハンドブック

版權取得 1981

1982 年 4 月 5 日第1版第1刷発行

訳者代表/尾島俊雄 発行者/森北 肇
写植組版・図版トレース/株式会社 緑 新 社
印刷/株式会社秀好堂印刷 製本/協栄製本

訳者との協議
により検印は
廃止します。

定価はカバーに
表示してあります。

発行所/森北出版株式会社

東京都千代田区富士見 1-4-11

〒102 電話 03-265-8341 (代表) 振替東京1-34757

落丁、乱丁本はお取替えいたします

3052-5504-8409

Printed in Japan

序

スティーブン・ショコレーは、18年前、ニューサウスウェールズ大学を卒業して以来、熱帯地方のケニア、温帯のイングランド、最近ではクイーンズランドに滞在して各種の環境問題に取り組んできた。彼は1974年、オット・ケニグスバーガ（Otto Koenigsberger）と共著「熱帯の住居と建物（A manual of tropical housing and building）」を出版し、続いて1975年の「Solar Energy and Building」はオーストラリアのみならず、アメリカや英国においてもベストセラーとなるに値する著書であり、その提案は明瞭で不偏的で実に優れた内容である。

そして、本書は、彼の野心的大著であり、物理学と社会科学を併せ、建築デザインと建築経済を含めた広範囲にして味わい深い名著である。私の知る限り、ショコレー博士ほどに広く深く明瞭に、この種の問題を取り扱った人はいない。本書は建築の理論・実際に根ざす基本的矛盾に橋わたしをしたもので、建築分野の教師にとっての記念碑的役割をもつと信じて疑わない。

1979年2月

シドニー大学建築学科教授

Henry J Cowan

日本語版によせる序文

私の本が日本語に翻訳されることを非常に名誉に思うと同時に、尾島俊雄教授および彼の同僚の方々に対し、この難解かつ骨の折れる仕事を完成していただいたことに厚く感謝したい。

この本自身は過去 10 年以上におよびイギリス、オーストラリアの大学の建築学科で教鞭をとってきた結果として生まれたものである。本の内容は以前、各章ごとにレクチュアノートの形で出版され、建築学科の学生に適するよう幾度か訂正され、磨きと調整が加えられてきた。

建築学とは芸術であり、また科学でもある。科学的な基本は構造と環境の分野から成り立っている。前者は現在多くの著書で十分取り扱われている。環境工学の分野はあまりにも多くの書物に頼らなければならず、各々の本は特定の分野、例えば日照や音響だけを扱っていたり、建築家にとって必要以上に深く詳細まで述べていたりしている。建築学科の学生に適したレベルで、全分野を扱った理解しやすいテキストは過去になかった。そこで私はこのギャップを埋めようと試みた。

この本がオーストラリアの読者と同様、日本の読者にも役立つことを心から願っている。

1981 年 6 月

S V Szokolay

総 目 次

序章……1～8

- (1)自然科学 3
- (2)社会科学 5
- (3)環 境 7

1 章 空 間……9～48

1.1 人間と空間 11

- (1)人体測定と空間 11
- (2)空間心理 16
- (3)空間の基準 19

1.2 空間構成 21

- (1)平面計画 21
- (2)流 れ 26

1.3 コミュニケーション 29

- (1)搬送システム 29
- (2)情 報 34
- (3)安 全 39

2 章 光……49～152

2.1 人間と光 53

- (1)光の物理 53
- (2)光の知覚 63
- (3)光環境 71

2.2 採 光 80

- (1)天空光 80
- (2)直射光 92
- (3)昼光照明設計用データ 105

2.3 人工照明 116

- (1)光 源 116
- (2)照明設計 126
- (3)人工照明設計用データ 140

3 章 音……153～232

3.1 人間と音 157

- (1)物理的基礎 157
- (2)音に対する人間の反応 163
- (3)音環境 171

3.2 音の制御 178

(1)音の伝播 178

(3)室内音響 200

(2)騒音の制御 187

3.3 電気音響 210

(1)音の増幅と矯正 210

(3)音響設計資料 223

(2)音響測定 215

4章 熱……233～373

4.1 人間と熱 239

(1)熱の物理 239

(3)熱環境 261

(2)熱に対する人間の応答 252

4.2 パッシブな熱制御 274

(1)熱の制御法 274

(3)気候計画 304

(2)日照調整 286

4.3 アクティブ熱制御 330

(1)暖房 330

(3)熱に関する諸データ 360

(2)換気と空気調和設備 349

5章 資源……375～471

5.1 人間と資源 379

(1)エネルギーの物理 379

(3)供給源と処分地 391

(2)需要と廃棄 385

5.2 給排水 401

(1)給水方式 401

(3)ごみ処理システム 424

(2)排水方式 409

5.3 エネルギーシステム 428

(1)電気システム 428

(3)自然エネルギーシステム 443

(2)燃料システム 435

6章 総括……473～489

(1)人間生態学 475

(3)経済的考察 483

(2)総括 477

序 章

- (1) 自然科学 3
 - (a)環 境 3
 - (b)主的要因 3
 - (c)計 測 3
- (2) 社会科学 5
 - (a)精神物理学 5
 - (b)近代精神物理学 5
 - (c)その他の手法 5
 - (d)測定 of 技術 6
- (3) 環 境 7
 - (a)地球レベル 7
 - (b)資 源 7
 - (c)材料資源 7
 - (d)食糧供給 7
- (d)関連科学 3
- (e)関連専門分野 4
- (e)環境心理学 6
- (f)社会と文化環境 6
- (g)美 学 6
- (e)土地利用 7
- (f)汚 染 7
- (g)地域環境 8
- 訳 注 8

(1) 自然科学

(a) 環 境 環境科学とは環境と人間に関する知識の体系である。建築デザイナーにとっては、自らの行為に起因する変化と効果の研究であり、自分の決断の結果を予測することができるに違いない学問である。広義に考えて、環境とは私でないすべてを意味する。更に厳密に定義すれば人間環境とは、人間が何らかの手法で感知し得るすべてを意味する。臭いは遠くの状況を感じし、眼は星の光を感じするように、触覚、嗅覚、聴覚、視覚、味覚の感覚器官の刺激度によって環境を定量化する。

人間の行動の一瞬一瞬について、どのレベルで環境をとらえるかは環境問題を取り扱う場合に重要なことである。そのすべての面において与えられた環境はエコロジカルシステムを持ち、同じスケールのエコシステムと関連を持ちつつ、さらに大きなエコシステムに連続し、宇宙が1つのシステムを形成する。エコロジーの科学はこのようなシステムをアウトサイダーの視点から客観的手法で取り扱う。環境はあくまで主体である私自身の見方であって、環境と人間の相互作用については人間環境システムと定義する。

(b) 主的要因 人間と環境システムの研究成果がデザイナーにとって重要であるのは、自然科学は物理的变化を予測したり、変化量を制御することが可能だからである。社会科学、特に心理学は人間と環境の相互作用を理解させることから、デザイナーが人間の必要とするものについて学ぶ。建築家にとって、特に ① 空間（空間理論）、② 光（視覚理論）、③ 音（聴覚理論）、④ 熱（熱的關係）、⑤ 資源（エネルギー、水、廃棄物等）、等の物理学や心理学が大切である。表 0.1 は、人間と環境の全体的関係、受動的関係、能動的关系に対する物理的サブシステムについてまとめたマトリクスである。

表 0.1

	1 空 間	2 光	3 音	4 熱	5 資 源	6 総 合
1 人間と 環境の関係	人間と空間 (人体測定)	人間と光 (照 度)	人間と音 (音 感)	人間と熱 (熱 感)	エネルギーとその 変換、利用、廃棄、 貯蔵	人間生態学 (人間-環境 システム)
2 受動的制御	空間の機能 (計画と動線)	昼光と日照	騒音制御と 室内音響	遮 熱 (建築形態)	給排水、衛生、 ゴミ処理	建築の総合 と環境問題
3 能動的制御	コミュニケーション (移動と防御)	人工照明	電気音響	暖房、換気、 冷凍、空調	エネルギーシステム、 ガス、油、固形燃料、 電気	建築の性能 と経済効果

(c) 計 測 物理学の基本は計測であり、国際単位 SI システムは今や全世界に普及し、科学文献のすべては表 0.2 の単位を利用している。その利点はすべての人々に共通の理解とコミュニケーションの場を与えると共に、その由来や物理量の関係をわかりやすく説明している。SI においてすべての基本単位は 6 ユニットである。

(d) 関連科学 環境科学の主題は光、音、熱の物理であり、それも環境の物理という科学の 1 分野にすぎない。精神物理学は社会科学と自然科学の境界線上にあり、物

表 0.2

物理量	記号	名称	次元	備 考
長さ	m	メートル		
質量	kg	キログラム		
時間	s	秒		
電流	A	アンペア		
温度	°K	絶対温度		
光度	cd	カンデラ		
面積	m ²			
体積	m ³			
密度	kg/m ³			
速度	m/s			
加速度	m/s ²			
力	N	ニュートン	kg m/s ²	
エネルギー, 仕事	J	ジュール	kg m ² /s ²	
仕事率	W	ワット	kg m ² /s ³	
エネルギー密度	W/m ²		kg/s ³	
圧力	N/m ² =Pa	パスカル	kg/m s ²	
光束	lm	ルーメン	cd sr	
照度	lx	ルクス	lm/m ²	
輝度	cd/m ²			
電荷	C	クーロン	A s	
電位差	V	ボルト	W/A	
電気抵抗	Ω	オーム	V/A	

理的刺激に対する心理学的効果についての学問である。その道具は心理測定科学である精神測定学に基づく。Ergonomics とは人間行為の科学であり、ギリシャ語の ergon = work (働く) から由来し、今日では単なる感覚や人間機械システムの研究から精神物理学に及ぶ広い範囲を意味する。アメリカで用いられる human factors engineering も Ergonomics と同義語である。Bio-engineering は Ergonomics の解剖学、生理学、人体測定学研究分野を示す。Bionics は生物学と工学の折衷した科学であり、サイバネティクス (Cybernetics 訳注1)) は機械と生物機構のコミュニケーションと制御の科学である。これに対して、環境科学は気候学、生態学、生理学と同様に以上のすべての要素を含む学問であり、建築家が制御する環境が、その利用者へ与える影響も含めて研究する学問といえる。

(e) 関連専門分野 最近、環境工学 Environmental Engineering の名目で別な専門家を養成する傾向が見受けられる。建築教育の中でこの分野が強調されるのは、余りにも研究されなかった分野であったからで、全く別の専門分野であったわけではない。建築家が無知であったために、暖房や空調や電気等、設備の専門家のなすがままに任せたことによって生ずる問題を考えれば、こうした分野を吸収しなければ、これからの建物は決して設計できないはずである。

(2) 社会科学

(a) **精神物理学** 物理的事象とそれに対応する心理的事象との科学である精神物理学は Fechner (1860) に源を見出すことができる。また, Herbart (1776—1841) は感覚の最低限界である絶対的閾の考えを明らかにした。Weber (1795—1878) は適正感覚差の概念を提案した。

一方, 物理的連続体 (温度や照度等) が定量化できれば尺度になる。精神物理学の観点から, 物理的刺激連続体 (S) に対し, 心理的反応連続体 (R) の関係を考える。

ウェバーの法則は物理的刺激の強さにより, 感覚強度が一定の割合で変化するとして,

$$\Delta S = KS, \text{ あるいは } \Delta S/S = K$$

ただし, ΔS は刺激の微小増加分, S は刺激の強さ, K は定数 (ウェバー率) で, 刺激の種類や個人差によって異なる。

この関係は厳密には精神物理学の法則ではなく, 単に刺激 (ΔS) に対する刺激 (S) の関係であり, 心理的反応 (R) に対するものではない。

フェヒナー (1801—1887) は, 感覚 (反応) の強さは刺激の対数に比例することを論じ, その結果としてフェヒナーの法則は精神物理学の最初の法則と呼ばれる。

$$R = k \log S$$

この関係は明らかに刺激尺度を反応尺度に代替している。しかし, 反応を直接測定することが不可能であるため, 判断連続体 (J) の概念が導入され, (J) と (R) の相関性が別の研究課題となっている。

(b) **近代精神物理学** ウェバーの法則 ($\Delta S = kS$) は後に Fullerton と Cattle (1892) によって, 次のように修正された。

$$\Delta S = k\sqrt{S}, \text{ あるいは } \Delta S = kS^{1/2}, \text{ 一般的には } \Delta S = kS^n$$

$\Delta S/S$ 比自体が一定ではなく, 刺激の強さの関数であることが, 後になって Spiegeiman と Reiner (1945) によって提唱された。Stevens (1961) は刺激に対する判断の関係は $J = S^n$ で表され, スティーブンスの力の法則として知られるに至った。

Skinner や Köhler のねずみやチンパンジーによる動物実験から人間の行動心理学へと発展し, 視覚認識課程においてはゲシュタルト心理学が建築分野に大きな寄与を行ってきた。Gestalt は文字通り形態を意味し, システム工学的手法に基づく。

Graham (1950) は刺激のみでなく, 他の多くの感覚的要素も加味した数学的モデルを作成した。

$$R = f(a, b, c, d, \dots, n, \dots, t, \dots, x, y, z)$$

ただし, R は測定可能な反応量, $a, b, c, d, \dots$ は刺激量, n は刺激回数, t は刺激の継続時間, x, y, z は動機や感動の内的条件, 他の条件が一定の場合には, 単一変数が試験される。 $R = f(a)$ のように。

(c) **その他の手法** 1920 年初頭, アメリカで暖房システムが抜本的に改善され空調設備が普及し始めた。技術者の自問自答として「一体全体どんな温度や湿度が我

私の必要とする状態なのか」と、そして、Houghton と Yaglou (A. S. H. V. E.) の快適ゾーンの研究が始まった。同様の実験がイギリス海軍のためにオーストラリア実験建築局によって行われた。医学、生理学、地理学から気候学に至る広い範囲の学問が熱的環境の快適性研究に注ぎ込まれた。

同様の研究が明るさについて「一体全体どのレベルの照度が望ましいか」についての課題になったのは、電灯の普及によるものであった。

工学の発達によって、こうした人工的環境の造成と、そのあり方についての討論、研究は日進月歩であって定説の段階に至らない。

(d) **測定の技術** 人間自体が反応や判断を測る計測器として使われることが不可欠である。人間が対象であり、人間の反応が真の値であるからであるが、被試験体としての人間は極めて流動的である。体験や教育、訓練、状態によって反応や行動にばらつきが大きく、判断そのものも著しく異なるため、人体計測技術の確立が大切である。統計処理や反応の直接計測手法等がその一助となる。

(e) **環境心理学** 刺激と反応の関係を計測する上で、適応性や馴化や忍耐等の問題があり、生理学と心理学の上に立つ環境心理学の発展に期待される。環境心理学は人間の行動と物理的環境との関連学と定義される。関連とは刺激と反応の連鎖以上のもの、人間は環境に反応するばかりでなく、互いに影響し合うことを意味する。例えば

- ① 環境は人間の行動を決定しないまでも限定を与える。
- ② 環境は明らかに空間的にも個性的にも人間の行動に影響を与える。
- ③ 環境は行動の動機づけである感情、態度、接近、逃避、適応行動を生み出す。

環境はちょうど、雌型のごとくに包み込み、抵抗し、保護するものである。環境心理学は「ブラックボックス」の方法で、箱の中身はわからないが、入力刺激による反応出力によって観察する学問と考えられる。フロイトが提言するように脳がどのように働くかは知らないが、「精神の過程を科学的に説明できない限り、心理学用語によって表現しつづける」ことになる。

(f) **社会と文化環境** 環境とは「私以外のすべて」であるとすれば、他の人間も社会も自分の環境の一部となる。文化も社会の産物であるから、社会学、社会人類学、社会心理学、民族学、文化・人文地理学に至る範囲も重要である。人間の成長過程にあたっての概念、言葉、行動のすべてをも社会から得るわけで、社会なしには、その人の存在はあり得ない。デザイナーにあっては特にこの傾向が強く、今日のように多層的で多様な社会にあっては、自発性、感覚的鋭敏さ、需要者への適応力と共に客観化されることが必要である。

(g) **美学** 心理学、物理の特別の領域、もしくはその究極、すべての人間の文化にとっての絶対的普遍性の言葉として、美学がある。美学的法則の定義は環境心理学の主題であるが、現在の仕事の範囲外であって、美の定義にはかかわらないで、その実現に影響力を持つ条件を創り出すことまでをいう。

(3) 環 境

(a) **地球レベル** Buckminster Fuller が 1969 年に「宇宙船地球号」の言葉を使って以来、地球は 1 つであり、クローズドシステムであり、その資源も廃棄物の処理量も有限であることが認識されてきた。産業革命を迎える以前は確かに地球は無限に大きかった。人間の行動に比して自然環境は無限に大きいに思えたが、人口の増大と機械は地球全体に広がって相互に影響を与え始めた。

(b) **資 源** エネルギーと水問題は別にして、まずは ① 材料資源、② 食糧供給、③ 土地利用、④ 汚染について概説しよう。

(c) **材料資源** 表 0.3 の資料から資源の限界は明らかで、リサイクルの必然性は明らかである。食糧問題は分配問題であり経済問題であるが、それも限界に達し、今や ① 新しい土地の開墾、② 現存土地の生産力増大、③ 物理的、虫・菌・動物的損害の防止、④ 植物増殖、合成食品の革新、⑤ 経済的運営の変革、等の改革なくしては未来はあり得ない。

表 0.3

物質	静的指数 (年)
アルミニウム	100
銅	36
鉄	240
鉛	26
水銀	13
スズ	17
亜鉛	23

(d) **食糧供給** 地球の陸地 12.8×10^9 ha の中、農耕可能地は 4 分の 1 の 3.2×10^9 ha である。現在の 1.4×10^9 ha の 2 倍になり得るが、余り良い耕作条件ではない。無理すれば化学肥料による汚染が問題になる。エコシステムの考えれば食糧供給も今が限界とも考えられる。

(e) **土地利用** バイオマス利用も結局は土地問題であり、農林事業の育成増大による食糧や新エネルギーの確保も土地確保に直結する。過密なオランダはもちろん過疎と思えるオーストラリアにおいても土地の有効利用についての政策は重要課題である。社会資本と自然資本の受益者と負担者の問題は土地利用の基本的問題で、受益者と負担者のバランスがくずれると公害や汚染、戦争や犯罪の発生に直結する。政府は長期的、短期的、広域的、局所的に的確な判断を必要としている。

例えば、オランダでは農業と工業の土地利用者に対して、住宅用地の確保で争いが起き、オーストラリアでは最も肥沃な土地に都市が定着し拡大している反面で、農耕地は砂漠へ追いやられる。鉱山の露天掘りや廃棄物によって荒廃した土地の回復についての負担者の問題、インフラストラクチャーの完備による受益者と負担者の分担等が問題である。

(f) **汚 染** 大量の殺虫剤を使う高度な科学農業では、有害物質がそれを食べる生物に蓄積する。それを防ぐために生物生態系の天敵を利用することが考えられている。硝酸塩やリン酸塩の化学肥料は、雨で土壌から川や湖へ流れ込み、藻類が繁殖する。藻の腐敗で水の酸素が奪われ、富栄養化を起こす。その結果、多くの湖や内海（例えばバルチック海）では酸欠現象から魚が住めなくなる。工場廃液や生活排水は二次処理後でも、川や湖に流されると生物的酸素要求量 (BOD) が増大し、富栄養化を促進させる。

地中海の汚染もその実例であり、自浄作用を越す廃水流れ込みは急速に自浄速度を追い越して進んでいる。

大気汚染についても内燃機関利用増大による CO_2 増大が地球レベルで問題になっている。大気中の長波長放射の透過を減少させ、温室効果をもたらすことによって、地球の気温上昇が極地の氷を溶かし、沿岸都市への洪水を心配させる。こうした点も地球レベルでは未解決であるが、少なくとも局所的にはヒートアイランドのような影響が起きている。

(g) **地域環境** 同一都市でもその地域によって美しさ、清潔さ、豊かさの違いが大きい。これは所得の相違だけによるとは思えない。社会科学は、こうした地域の特性についての解を発見していない。都市間の相違はさらに大きい。19世紀後半に日本のアメリカ視察団がワシントンやバルチモア郊外の乱れた環境にショックを受けたという。今日、ヨーロッパの中心からオーストラリアの都市郊外へ来ると、良く手入れされた建物と崩壊した建物の混在に驚くであろう。問題は、美学的感覚や道徳的感覚の欠如社会の出現にある。

私が包装紙を道に捨てたり、必要以上のエネルギーを使ったり、歯を磨く間も水を出しっぱなしにしたり、6人の子供を産んだりすれば罪の意識を持つ。同時にある程度の仕事をし、家や庭、道路を清潔に保ち、耐久性のある品物を使い、環境に関する政策を掲げる政党に投票する基本には、私は環境と共に生活したいという意志がある。環境から自己的近視眼的に得るだけでなく、与えるのである。私は地球レベルの生態系の一部であることを自覚し、それなくしては生きていけないことを自覚する。このような新しいエコロジカルな道徳の芽生えこそ未来を約束することになる。

訳 注

- 1) **Cybernetics**: ギリシャ語の舵手に由来する語。通信・操縦などの工学的問題から統計力学、神経系統や脳の生理作用までを統一的に処理する理論の体系。アメリカのウィナー (N. Wiener) の提唱による新しい学問。

1 章 空 間

1.1 人間と空間…… 11

- (1) 人体測定と空間 11
 - (a)人体測定 11
 - (b)人体測定資料の整理 12
 - (c)人体測定資料の利用 14
 - (d)姿勢と支持 15
 - (e)動作容積 16
- (2) 空間心理 16
 - (a)空間と知覚 16
 - (b)空間と行動 18
 - (c)コミュニティとプライバシー 18
- (3) 空間の基準 19
 - (a)空間の基準の種類 19
 - (b)事務空間 19
 - (c)公共建築 20

1.2 空間構成……… 21

- (1) 平面計画 21
 - (a)空間構成 21
 - (b)バブルダイアグラム 21
 - (c)マトリクス法 22
 - (d)ネットワーク図法 22
 - (e)流れ図法 23
 - (f)コンピューターの利用 25
 - (g)アナログ法 25
- (2) 流 れ 26
 - (a)空間と流れ 26
 - (b)コミュニケーションスペース 26
 - (c)通行量の見積り 27
 - (d)自動車の流れ 28

1.3 コミュニケーション……… 29

- (1) 搬送システム 29
 - (a)人間の移動 29
 - (b)エスカレーター 29
 - (c)エレベーター 30
 - (d)その他の搬送設備 33

(2) 情 報 34

(a)基礎理論 34

(b)情報量の計測 36

(c)雑音と冗長度 37

(d)電話設備 37

(3) 安 全 39

(a)防 火 39

(b)防 犯 41

(c)避 雷 41

訳注および解説 41

図示記号 44

参考文献 48