



はじめての 建築環境工学

小林茂雄・中島裕輔・西村直也・古屋浩・吉永美香 著



はじめての 建築環境工学

小林茂雄・中島裕輔・西村直也・古屋浩・吉永美香 著

まえがき

「環境の時代」と言われる 21 世紀になり、すでに 10 年を超える歳月を経ている。確かに世の中を見渡すと、環境性能をうたわない製品は皆無といっても過言ではない。実際、建築関連分野において最も変化が著しいのは環境の分野だと思う。このように現実社会においての環境分野の重要さは誰しもが認識しているものの、いざ自分がその分野に取り組む技術者になるのかと問われると、非常に多くの建築系学生がためらってしまうのが現実のようである。非常に残念な状況であり、その教育に携わる者の一人として強く責任を感じるころではある。こうした状況となる原因として、建築環境工学が非常に多岐にわたる分野であるとともに、各分野が極めて強い専門性をもつことが根本にあると思われる。実際、教育の現場で、個々の分野について十分な時間を費やした教育を行うことはなかなか難しいのが現状である。その結果、学生側も至って表面的な知識に触れるにとどまり、学問としての奥深さに触れる機会も少なく、知的好奇心をもって主体的に学ぶまでに至らないことが多いように感じられる。

一昔前の建築環境工学の教科書は、分野ごとの専門家が集まり、各人が研究する最先端の知識を記載することが多かったように思われる。しかし、これでは初学者に対する教科書としては使いにくい面があり、近年では一人の著者による適度な省略や工夫によって、バランス良く記載した内容のものが増えたように感じられる。そうした状況のもとで、本書は、あえてそれぞれの分野を専門とする著者が集まって執筆する方法を選んだ。そのため、本書を手にした先生の中には、一昔前のもののように専門分野に深く入り込みすぎているのではとの懸念をもたれる方もおられるのではないかと思う。

本書は、大学、高等専門学校で使用されることを目標として執筆しているが、個々の分野においては、あえて一般的な授業の中では触れない部分まで記載している。こういう形態をとった理由は、分野ごとに中等教育で習う物理・化学に結びつく内容まで記載するように心がけた結果であって、決して最先端の知識を競うように書いたものではないことを分かって頂きたいと思う。むしろ環境工学がもつ強い専門性も、結局は物理・化学の基本に忠実な現象にすぎず、決して特殊な事象ではないことを理解して欲しい、という趣旨である。言葉を換えて言えば、ともすれば何に役立つのか実感がわからない理科・数学を使えば、実際に建築内部で起こっている現象を説明することができ、さらに問題の解決策を導き出すことができることを実感して欲しいということである。

初学者に対しても「どうしてそうなるのか」が十分に理解されれば、建築環境工学に対する学生の認識も変わるだろう。本書によりこの分野の技術者・研究者になろうと志す学生が増えることを、心から願う次第である。

2014 年 8 月

著者を代表して 西村直也

まえがき 003

1章 屋外気候

- 1. 気温と湿度 008
- 2. 風 009
- 3. 雨と雪 011
- 4. 日射と日照 012
- 5. 主な測定機器 013
- [演習問題] 1・2・3・4 016

2章 日射

- 1. 放射の基礎と太陽からの放射 018
- 2. 地表面での日射 019
- 3. 紫外線・可視光線・赤外線 021
- 4. 太陽位置 022
- [例題] 1・2 025
- [例題] 3 026
- 5. 時刻 026
- [例題] 4 027
- 演習問題 029
- 6. 日影曲線と日影図 029
- [例題] 5・6 031
- 7. 水平面と垂直面における日射 032
- 8. 短波長放射と長波長放射 033
- [コラム] 太陽エネルギーをつかまえる 035

3章 熱環境

- 1. 熱移動の基礎 038
- [例題] 1 042
- 2. 熱貫流 044
- [例題] 2 046
- [例題] 3 047
- 3. 外表面の熱授受 048
- 4. 建物の熱特性 051
- [コラム] 気候と熱特性を考慮した世界各地の建物の工夫 056
- [演習問題] 1・2・3 056

4章 湿度・湿気

- 1. 湿り空気と温度 058
- [例題] 1 062
- [例題] 2 063
- 2. 湿気とその対策 064
- [演習問題] 1・2・3・4 066

5章 温熱環境

- 1. 人体の熱収支 068
- 2. 熱的快適性指標 070
- [例題] 1 073
- [例題] 2 074
- [例題] 3 076
- 3. 温熱環境の測定機器 077
- [コラム] さまざまな冷房機器と温熱環境 078
- [演習問題] 1・2 078

6章 空気質環境

- 1. 空気汚染物質の種類 080
- [コラム] PM2.5について 083
- [コラム] 分煙 085
- 2. 汚染物質の除去 085
- 3. 汚染物質の許容濃度に関する指針 086
- 4. 換気の種類 086
- [コラム] 換気と通風 088
- [コラム] 住宅の24時間換気 089
- 5. 必要換気量 090
- [例題] 1 092
- [例題] 2 093
- 6. 換気計画 093
- [例題] 3 096
- [例題] 4 099
- [演習問題] 1・2・3・4・5 099

7章 光環境

- 1. 視覚 102
- [コラム] 視力の測り方 103

2. 光の単位	105
3. 昼光	107
4. 人工光	110
5. 照明計画	113
[例題] 1・2	116
6. 色の表し方	117
7. 色彩計画	119
[演習問題]	121
[コラム] 建築スケールで光のデザインをしよう	122

8章 音環境

1. 建築と音環境	124
2. 音の物理	124
3. 音の単位	126
[例題] 1	126
4. 聴覚の性質	127
5. 吸音と遮音	129
[例題] 2・3	132
6. 室内の音場	132
[例題] 4・5・6	138
7. 遮音・騒音制御計画	138
[例題] 7	144
8. 室内音響計画	145
[例題] 8	153
[演習問題] 1・2	153

9章 都市の熱環境

1. ヒートアイランド現象	156
2. 都市・建築のさまざまな暑さ対策技術	158
[例題] 1・2	160

演習問題解答	161
参考文献	164
図版出典	166
写真撮影・提供	168
索引	169

1章

屋外気候

雨や晴れといった大気の状態、あるいはその変化のことを気象 (weather) と呼ぶのに対し、ある地域における特徴的な自然条件の傾向のことを気候 (climate) と呼ぶ。建築物の設計は、まず、立地のもつ気候条件や特性を正しく把握することから始まる。そのうえで、自然のもつポテンシャルを活用して、室内の温熱環境、音環境、あるいは光環境の質を高める方法を検討する (パッシブデザイン)。パッシブな手法で屋内環境の質を高めることは、結果として、空調設備や換気設備、あるいは人工照明設備といったアクティブな設備機器によるエネルギー消費を抑制し、CO₂に代表される温室効果ガスの排出量を削減することにもつながる。

気候を構成する主要要素として、気温、湿度、降雨、降雪、風、気圧が挙げられる。本章ではこれら環境要素を把握するための道具や基礎知識について学ぶ。

1 | 気温と湿度

気温 (ambient temperature) は大気の乾球温度のことであり、その土地の気候を特徴づける主要要素のひとつである。屋外の気温を測定するためには、一般に棒状のガラス管の内部に水銀またはアルコール等を封入した液体封入温度計 (図1) を、百葉箱 (図2) の中に設置して測定する。百葉箱は降雨を避けるだけのものではなく、温度計の感温部が日射熱等を吸収し、本来測定したい大気温度よりも高い温度を表示してしまうという問題を回避する役割がある。また通気を確保する目的で、百葉箱の側面はガラリ (複数の細長い板を外側が低くなるよう等間隔に斜めに配置した開口部のこと) 状になっている。しかし、風がない状態では百葉箱の中は日射等で外気よりも高温になるため、より精度よく測定するためには、感温部に強制通風装置を設けなくてはならない。

湿度、つまり大気に含まれる水蒸気量の表し方には多くの指標があるが、屋外気候では一般に**相対湿度** (relative humidity) が用いられる。相対湿度とは、ある温度の空気を含むことができる最大量の水蒸気分圧に対し、実際に含まれている水蒸気分圧の比を百分率で示したものである。液体封入温度計の感温部を湿らせたガーゼで包んだ湿球温度計で湿球温度を測定し、この示度と前述の乾球温度とを合わせて計算により相対湿度を求めることができる。近年では電気的な湿度計である高分子型膜湿度センサーを利用した測定器もよく使われている。これは相対湿度の変化により高分子膜内部水分量が変化する誘電率の変化で検出する装置である。

ある土地における気候を把握したり、ほかの土地と比較したりする際には、特徴的な要素2つを軸とした2次元空間で表すと便利である。このような図を**クリモグラフ** (climograph) と呼ぶ。図3

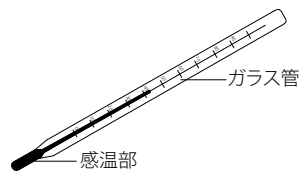


図1 液体封入温度計

液体が温度上昇に従って一定の割合で膨張するという現象を利用して温度を知る装置。水銀、アルコール、有機液体などが封入される。温度を測る装置には、そのほかにも熱電対、アスマン通風乾湿計、放射温度計、サーモカメラなどがある。

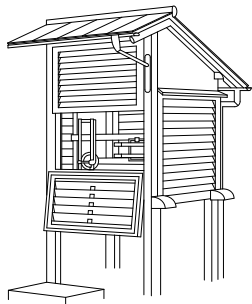


図2 百葉箱

測定機器が雨に濡れないよう、また通風を確保しつつ、センサーに直接日射が当たらないようにする。

- ★乾球温度⇒ p.062
- ★相対湿度⇒ p.059
- ★湿球温度⇒ p.062
- ★水蒸気分圧⇒ p.060

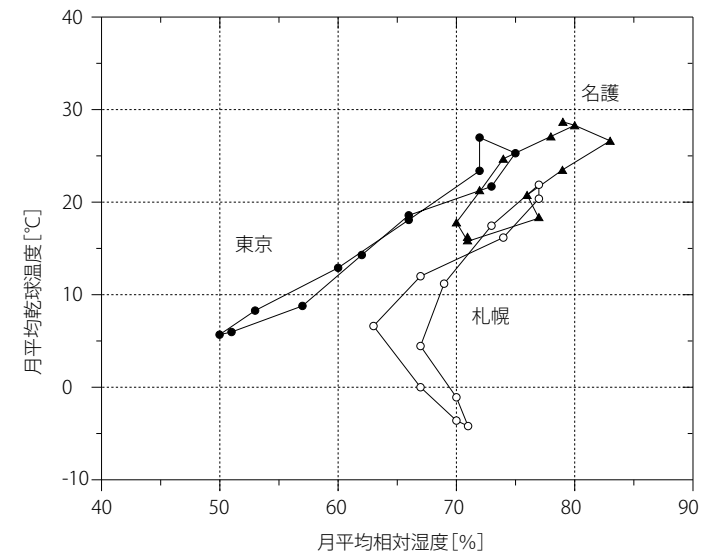


図3 クリモグラフの例

に温度と相対湿度を軸にとったときの、東京都、札幌市 (北海道)、名護市 (沖縄県) のクリモグラフの例を示す。これより、名護は他の二都市に比較して高温高湿で安定していること、また札幌は東京都よりも気温が低い相対湿度は高めであることなどがわかる。

建築物の空調に寄与する暑さや寒さの程度を示す簡易指標として、**デGREEデー (度日)** (degree days) がある。暖房デGREEデーは、暖房期間における1日の平均室内温度と外気温度との差と、暖房日数との積として定義される。同様に、冷房デGREEデーは、冷房期間における1日の平均室内温度と外気温度との差と、冷房日数の積として定義される。デGREEデーは温度差と日数との積であるため、その名のとおりに [°C・日] の単位をもつ。室内と外気との温度差が大きくなるほど、また、冷暖房稼働日数が長くなるほど、比例的にデGREEデーの値が大きくなるため、空調のエネルギー消費や省エネルギー性の簡易検討に便利である。

2 | 風

風は地球の自転による慣性の影響¹⁾と、大気温度の不均一により生じる気圧差などで発生する。たとえば日本では、西から気象が変わっていくことが経験的に知られているが、これは地球の自転で上空の大気が東へ流れることに関係しており、この風は偏西風と呼ばれる。これに太陽熱の授受の不均一さや、海面や陸地など日射を受けた地表面の暖まりやすさ、そして地表面の起伏による抵抗などの影響が複雑に関連し合い、地域における風環境をつくり出している。一般に夏や日中は、陸地のほうが海よりも日射を受けて暖まりやすいため、上昇気流が発生し、低気圧になる。そこに海からの風

1) コリオリカという。

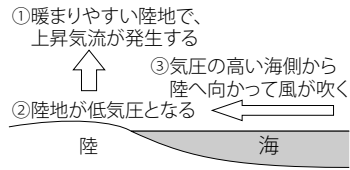


図 4a 海風のしくみ

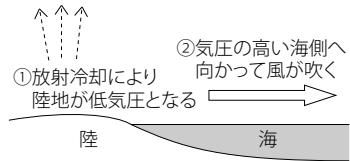


図 4b 陸風のしくみ

2) 8 方位なら、東・西・南・北・北東・南東・北西・南西。16 方位なら、北から東方向へ向かって、北・北北東・北東・東北東・東・東南東・南東・南南東・南・南南西・南西・西南西・西・西北西・北西・北北西となる。中間方位の呼び方に注意しよう。

が流れ込むことになる（海風）。冬や夜間は、陸地が放射冷却により冷やされるため、陸から海に向かって風が吹くことが多い（陸風）。海風と陸風のしくみを図 4 に示す。

風の様子を知るためには、**風速**（wind velocity）と**風向**（wind direction）の 2 つが重要な指標となる。風は常に変化しているため、一瞬のタイミングでの風速、つまり瞬間風速だけでは気候としての特性を知ることは難しい。そこで、目的に応じて、ある時間の平均風速を利用することが一般的である。ただし、台風や強風の程度を示すために、最大瞬間風速が用いられる場合もある。風速の単位には一般に m/s が利用される。風向は風の吹いてくる方向、つまり風上の方角を示す。風向の種類は、東西南北にそれぞれの中間方位を加えた 8 方位、あるいはさらに中間方位を加えた 16 方位、さらに詳細には 36 方位で表される²⁾。ただし、気象台観測等では、風が吹いていない状態を「静穏」として風向データに加えている。

建築設計において、対象地域の風環境の特徴を直感的に把握するためには、風配図を用いると便利である（図 5）。風配図は、ある期間の風向の出現頻度を円グラフに表したものであり、最も頻度の高い風向の風を卓越風と呼ぶ。

晩春から初夏、また初秋においては、卓越風を上手く建物の中に取り込むことで比較的涼しく過ごしやすい室内環境をつくり出すことができる。卓越風を室内に呼び込むには、風を取り込むための開

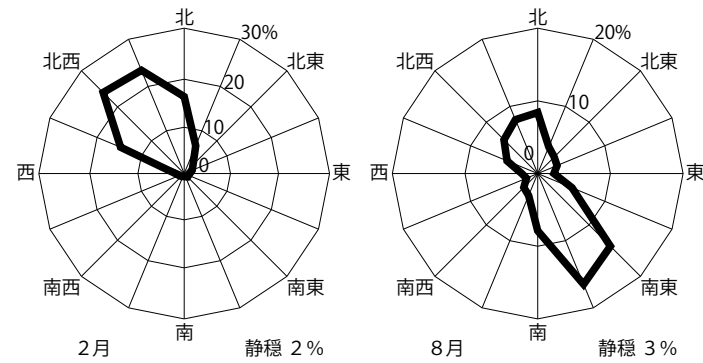
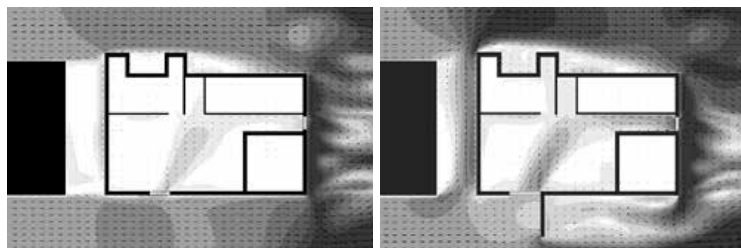


図 5 風配図（名古屋における 2 月と 8 月の例）



a 袖壁がない場合 b 南に袖壁がある場合

図 6 袖壁設置（ウインドキャッチャー）による風の取込み例

左図：約 3m/s の西風が吹いているが、風上側開口部が南面しているため、室内にあまり誘導できていない。南開口部の平均風速は約 1.3m/s。右図：南壁の東側に袖壁を設けると、室内により多くの風を引き込むことができた。南開口部の平均風速は約 1.9m/s。

口部（窓）をその方向に設けると同時に、風が抜けていくための窓を別の方位に設置する（二方向開口をとる）ことが重要である。卓越風の方向に開口部を設けると、風速が大きくなりすぎてしまう場合や、当該の方向に窓を設けることが困難な場合には、図 6 のようにウインドキャッチャーと呼ばれる袖壁を設け、間接的に風を室内に誘導する設計手法が採られることもある。ただし卓越風は必ずしも好ましいものとは限らず、季節によって極度に強い卓越風が吹き荒れるような地域では、これらの強風を遮るよう、建物や敷地の周辺に強風に強い樹木を密に植えることがある。このような風除けを目的として植生された樹木群のことを防風林という。なお、このような歴史的に地域に被害をもたらしてきた強風には、地域によってある特有の名称がついていることが多い。たとえば、神戸市北側の六甲山系の「六甲おろし」などが有名である。

風は、平原や田畑など地表面の凹凸が少ない場所では強く、ビルの立ち並ぶ都心では抵抗を受けるために弱く吹く。この地表面の抵抗状態を粗度という。同じ理由により、上空では強く、地表面では弱く吹く。図 7 は粗度および地表面からの高さで風速分布の傾向を示している。

特に高層建物を設計する際には、構造設計の面からも、空調や換気設計の面からも、高層階部分の風環境を予測することが不可欠である。鉛直方向の風速分布を予測するための計算モデルには、対数法則と指数法則がある。建築分野では一般に対数法則を使うことが多い。

粗度係数 z_0 [m]	10	1.0	0.1
風速分布指数 n	0.40	0.28	0.16
地表面からの高さ [m]	100 95 90 84 78 72 66 60 54 48 42 36 30 24 18 12 6	100 96 90 84 78 72 66 60 54 48 42 36 30 24 18 12 6	100 97 92 86 81 76 71 66 61 56 51 46 41 36 31 26 21 16 11 6
地表面の状態	高層建物が密集する市街地	平家建物が建ち並ぶ郊外地	障害物のない畑地

図 7 地表面からの高さで風速分布

3 | 雨と雪

降雨の量は一般に、1 時間または 24 時間に地表面に降った水の体積量を単位面積で除した値として、通常 [mm] の単位で表示する。これを**降水量**（precipitation）と呼ぶ。

われわれが生きていくうえで水はなくてはならないものである。山々にもたらされた降水と降雪は地下深くに浸み込み、帯水層に達し、最終的に地下水となり供給される。これを涵養（かんよう）と



写真 1 沖縄県における防風林の例

高木の常緑広葉樹であるフクギ利用している。防風林の減風効果は、樹木の高さの 20 倍の距離に及ぶといわれる。

★通風⇒ p.088

★ヒートアイランド現象⇒ p.156

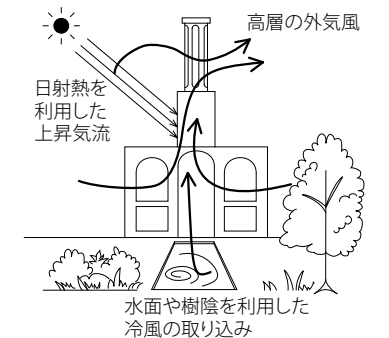


図 8 風を利用した建築事例（イランの Windscoop）：上空を吹き抜ける強い風の力を誘引力として使い、地表面から建物内に風を取り込む風の塔をもつ。上層気流の誘引だけでなく、塔の側面に当たる日射熱で塔内に生じる上昇気流の効果も併せて利用している。さらに、屋内への取込み空気には、水の蒸発で低い温度となった水面近傍からの外気を利用するなど、涼しさを得るために何層もの工夫がなされている。

いう。日本の年平均降水量は約 1,700mm で、世界（陸域）の年平均降水量約 800mm に比較して非常に多く、水に恵まれた国と言われてきた。しかし、全国土の降水量を人口で除した国民一人当たりの年降水総量で見ると、日本は約 5,000/（人・年）で、世界平均の約 16,800/（人・年）のおよそ 3 分の 1 程度となっている。また、近年は局地的な豪雨や干ばつが頻発し、必ずしも年間総降雨量が有効に利用できる状態ではなくなってきている。さらに、春から初夏にかけての重要な水資源であった冬季の降雪量も著しく減少しており、水にまつわる問題が深刻化している³⁾。

3) 気候変動 (climate change)、あるいは地球温暖化 (global warming) と呼ばれる、主として大気中の二酸化炭素などの地球温暖化ガスの増大に起因する地球規模の問題はきわめて深刻である。気候変動と呼ばれるとおり、地球上がただ均質に温度上昇しているわけではなく、すでに局地的な干ばつ、豪雨、台風やハリケーンの巨大化など深刻な気候の変化がはっきりと現れている。これは今、地球上に存在するわれわれが全力で早急に取り組まなくてはならない緊急事態であることをしっかり認識しよう。

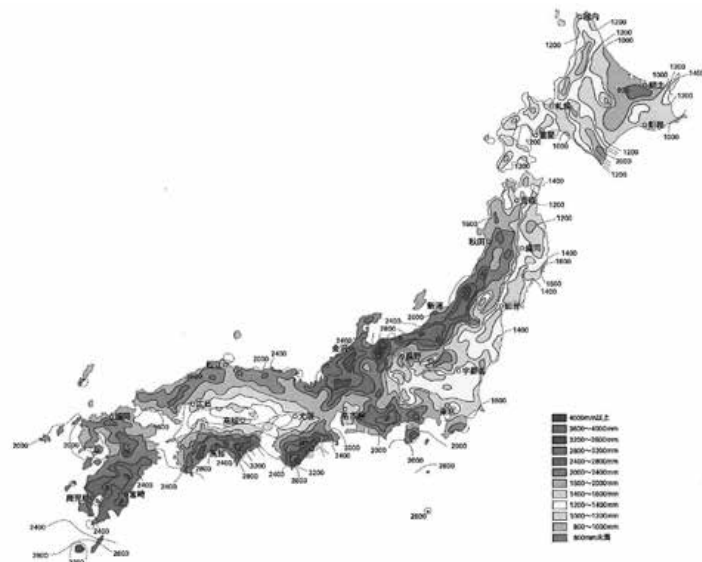


図 9 日本の降水量分布 (国土地理院発行 新版 日本国勢地図 H2)

雪の測定指標には、降雪量と積雪量の 2 つがある。降雪量はある対象時間内に降った雪の量を、積雪量はある時点で実際に積もっている雪の量を、いずれも高さの単位で示したものである。すべての気候要素は各地域に残る特徴的な建築様式と密接に関係しているが、なかでも降雪は、屋根への積雪が建物強度に大きな影響を及ぼすことから、屋根形状との関係が深い。たとえば図 10 は 1960 年代を中心に多く建てられた北海道の急勾配屋根で、一般に三角屋根と呼ばれる。温暖地域の標準的な瓦屋根は 4 ~ 6 寸勾配 (約 22 ~ 31°) であるのに対し、7 ~ 10 寸勾配 (約 35 ~ 45°) ときわめて急になっているのは、積雪をスムーズに地面に落とす (落雪) ためである。



図 10 北海道の三角屋根

近年は、落雪によるけが等の問題を回避するため、構造を強化した陸屋根や M 字型の屋根で雪を保持し、融雪水のみを排水するという無落雪屋根も増えている。

4 | 日射と日照

日射 (solar radiation, insolation) と **日照** (sunshine) はいずれも太陽放射を指しているが、建築環境工学の分野では一般に「日射」は太陽放射のもつエネルギーや熱量を、「日照」は日当たりや明る

さを対象とするときに用いられる。言い換えると、日射では太陽放射のすべてを、日照ではそのうちの可視光線領域とそれを感じる人間の視覚との関係についてを取り扱う。

一定期間 (通常は 1 日) のうち直射光が得られた時間数のことを日照時間という。建築基準法では隣接する建物などの障害物を考慮し、天気が晴れであった場合に得られる日照可能時間のことと定めている。そのため、日照時間は日当たり時間とも呼ばれる⁴⁾。一方で、終日晴天であっても対象地域の緯度により、得られる日照時間は変化するため、対象地域の日の出から日没までの理論上の日照可能時間のことは可照時間と呼び、日照時間とは区別する。可照時間に対する日照時間の割合を日照率と呼ぶ。

5 | 主な測定機器

(1) 温度の測定機器

温度の測定機器には、前述の液体封入温度計のほかに、熱電対、測温抵抗温度計、放射温度計などがある。**熱電対** (thermocouple) は、多点で、物体や空気の温度を測定する際に一般的に利用される温度計である (図 11)。熱電対は、異なる素材の金属を接触させ、接点間の温度差に応じて発生する起電力 (この現象をゼーベック効果という) を利用している。熱電対そのものは微小電圧を発生させるセンサーとしての役割のみを担うので、実際の測定には起電力を測定し温度に変換する装置 (電位差計や熱電対に対応したデータロガー⁵⁾ など) が必要となる。起電力を利用するため、センサーへの電源供給は不要である。用いる 2 つの金属線の組み合わせによって、表 1 に示すように多くの種類がある。建築環境工学の分野では常温の領域が測定対象であるため、この範囲での測定精度のよい T 型熱電対を用いることが多い。T 型熱電対で用いる金属線は銅 (copper) とコンスタンタン (constantan) と呼ばれる合金で、これらの頭文字をとって CC 熱電対とも呼ばれる。

4) ただし、気象学の分野では障害物がない状態を対象に晴れや曇りなどの天気の変動を含めた実際の時間数を指す。

★熱電対⇒ p.077

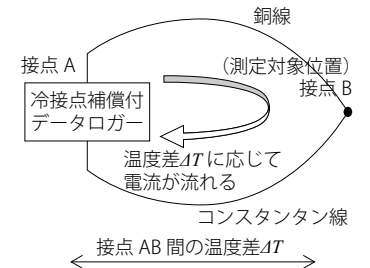


図 11 T 型熱電対による温度測定

異なる金属を接触させると温度差 (に伴う熱の流れ) から起電力が生まれるのがゼーベック効果である。逆に、異なる金属を接触させて電気を流すと、片方の金属からもう一方へ熱が流れる。これをペルチェ効果という。

5) データロガーとは、各種のセンサーが出力した電流、電圧、あるいはパルスといった電気信号を読み取って記録装置に保存する機能をもつ装置である。これらの値に、センサーにより決まっている関係式を当てはめることで、本来の測定したい値と単位に換算できる。

表 1 JIS 規格の熱電対

種類の記号	構成材料		使用温度範囲	特徴
	十極	一極		
K	ニッケルおよびクロムを主とした合金 (クロメル)	ニッケルを主とした合金 (アルメル)	-200℃~1000℃	高温域の工業用
J	鉄	銅およびニッケルを主とした合金 (コンスタンタン)	0℃~600℃	中温域の工業用
T	銅	銅およびニッケルを主とした合金 (コンスタンタン)	-200℃~300℃	常温での精密測定用
E	ニッケルおよびクロムを主とした合金 (クロメル)	銅およびニッケルを主とした合金 (コンスタンタン)	-200℃~700℃	高い起電力特性をもつ
N	ニッケル、クロムおよびシリコンを主とした合金 (ナイクロシル)	ニッケルおよびシリコンを主とした合金 (ナイシル)	-200℃~1200℃	測定温度域が広い
R	ロジウム 13% を含む白金ロジウム合金	白金	0℃~1400℃	精度がよく安定
S	ロジウム 10% を含む白金ロジウム合金	白金	0℃~1400℃	
B	ロジウム 30% を含む白金ロジウム合金	ロジウム 6% を含む白金ロジウム合金	0℃~1500℃	

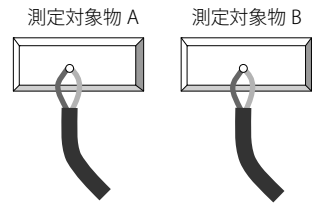


図 12a 熱電対による温度測定例

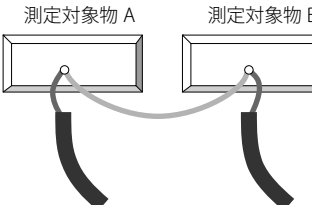


図 12b 二点一対のサーモパイルによる温度差測定例

図 12a は対象物 A と対象物 B の各々の表面温度を、測定精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ の熱電対で測定している。図 12b は一対のサーモパイルで双方の起電力を相殺し、温度差に相当する起電力のみを測定している。もしこの計測の目的が、A と B との温度差を得ることであるならば、図 12a での温度差の精度が $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、図 12b での温度差の精度は $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ と 2 倍の精度が得られることになる。対の数を増やすことでさらに精度を上げることもできるが、サーモパイルの出力電位差を対の数で除す必要があることに注意する。



写真 2 サーマスタと高分子型湿度センサーを利用した携帯型湿度計

- ★絶対湿度⇒p.062
- ★湿り空気線図⇒p.062



写真 3 アスマン通風乾湿計

- ★アスマン通風乾湿計⇒p.077

熱電対は、その太さや接点の接触状況により精度が変わる。一般に、扱いやすさから直径 0.3mm 程度の素線が用いられることが多いが、高精度 (0.1°C 以下) での測定が必要な場合には、0.1mm が用いられる。また、熱電対の二種類の素線を直列で交互に対になるように接続して、増幅された電位差を測定する方法 (示差熱電対やサーモパイルと呼ばれる) もある。対の数だけ、電位差が増幅されて測定できるので、測定値を対の数で除すことで、温度差を精度よく求めることが可能である。

測温抵抗温度計は、温度が上昇すると抵抗が増す性質をもつ金属を利用するものと、逆に温度上昇で抵抗が低下する半導体を利用するものがある。前者は白金抵抗体 (Pt100、Pt1000 などと表記される) が、後者はサーミスタが主流である。いずれの温度計も、流した電流の流れやすさ (あるいは流れにくさ) から温度を知るため、センサーに電源を供給する必要がある。また熱電対と同様に電流の検出器、または対応したデータロガーといった計器が必要である。測温抵抗体には 2 線式、3 線式、4 線式といった配線による種類があり、4 線式が最も精度がよい。

サーミスタはマンガン、ニッケル、コバルトなどからなる半導体で、温度変化による抵抗変化が大きく、小さい温度変化を速やかに測定することができるという長所がある。その一方で湿度による影響や経年劣化が大きいいため、保管時に適切な配慮をすること、また測定前に適切な校正をすることが望ましい (写真 2)。

(2) 湿度の測定機器

湿度の表現には、相対湿度、絶対湿度、水蒸気分圧など、たくさん指標があるが、温度と異なり、正確な値を直接計測することが困難なものが多い。そこで比較的容易に計測できる湿球温度を湿度の直接測定指標として計測し、乾球温度の値とともに、湿り空気線図で相対湿度を導出する方法が一般的に利用されてきた。

しかし近年では、直接、相対湿度を測定することが可能な高分子型湿度センサーが普及してきた。高分子型湿度センサーは、感湿体に有機高分子材料を採用し、水分の吸着や脱着に伴う電気量の変化を測定することで相対湿度を求めている。その他、新材料の開発に伴い、さまざまな湿度センサーが登場している (写真 3)。

(3) 風向・風速の測定機器

多くの風速計は、風杯や風車羽根の回転速度が風速に比例することを利用して回転数から風速を導出している。風杯を使うものでは、かつて四杯式もあったが、現在では三杯式風速計 (写真 4) が一般的である。三杯式風速計だけでは風向がわからないので、矢羽根式風向計などとともに設置されることが多い。風車と風向計を一体化した、風車型 (飛行機型) 風向風速計も多用されている。風杯にしる風車にしる、回転部分の重量と摩擦による初動抵抗があるために、微風の測定には適さないという欠点がある。

微風速も正確に測定できる風速計の一つに、超音波風向風速計がある。超音波風速計は、超音波の送受信機を複数もっており、これらから同時に超音波を送信する。ここで測定しているのは、送信された超音波が別の送受信機に到達するまでの時間である。風上側から風下側への超音波は風速の分だけ速く到達し、風下側から風上側への超音波は逆に遅く到達するので、これらの差から実際の風速を求めることが可能である。超音波風速計は、風速により超音波が空気中を伝わる速度が変化することを利用した風速計である。2 点以上の超音波の送受信機をもち、交互に超音波を発信および受信している。写真 5 に二次元超音波風向風速計の例を示す。水平方向の風速が得られるだけではなく、風上方向も同定できるので、同時に風向も測定していることになる。さらに多くの送受信機を備え、高さ方向も含めた 3 次元空間で風向と風速を同定できるものは、三次元超音波風向風速計という。

屋内での風速測定など、降雨の心配がない場合には、熱線式風速計 (写真 6) もしばしば利用される。熱線式風速計は、細い電線に電気を流し発熱させておき、風が当たったときの冷却量から風速を推定するしくみになっている。熱線式風速計は微風でも測定することができるという特長がある反面、熱線に風の当たる向きによっては精度が低下する。これを指向性という。測定時にはセンサーを風に対して正しい向き、つまり回転させてみて風速が最も大きくなるように調整するとよい。

(4) 日射量の測定機器

日射量の測定には、通常、全天日射計を用いる。ある程度の精度を有するものはいずれも、半球のガラスドームの中に検出器が入った形状をしている。ガラスを用いているのは風雨の影響を避けるだけでなく、ガラスが日射を透過し長波放射をほとんど通さないという特性をもつためである。またドーム型の形状となっているため、真上だけではなく半球の全方向から入射する日射を取り込める。精密全天日射計 (写真 7) に代表される熱型日射計は検出器に日射吸収率が既知の受熱板 1 ~ 2 枚が設置されており、この温度から日射量を求めている。簡易型の日射計は一般に太陽電池素子を検出器としており、安価だが、波長域により感度が異なるためあまり精度は高くない。一般的な日射計は電圧で出力されるものが多く、計測にはデータロガー等に接続する必要がある。日射量の単位は $[\text{W}/\text{m}^2]$ などである。

日照計と呼ばれる機器は、前述のように日照 (直達日射による日当たり) が得られる時間を測定するもので、日射量を測定するものではない。また、照度計は明るさを測定する機器で、測定値の単位は $[\text{lx}]$ である。



写真 4 小型三杯式風速計



写真 5 二次元超音波風向風速計



写真 6 熱線式風速計



写真 7 精密全天日射計

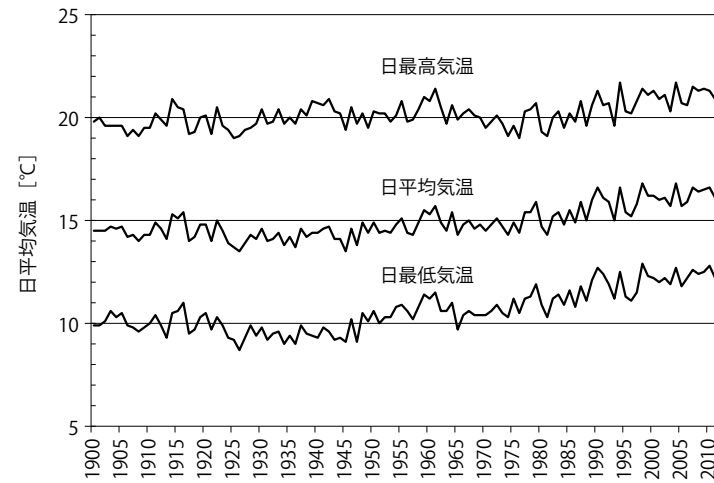
- ★日照⇒p.012
- ★直達日射⇒p.020
- ★照度⇒p.106

地方気象台によって、観測されている気象要素や観測期間が異なるので注意すること。

★年推移のグラフ化⇒ p.156

演習問題 1

気象庁のホームページ（ホーム＞気象統計情報＞過去の気象データ検索）*では、気象統計情報として、全国の気象台の観測データが公開されている。自分の住む地域に最も近い気象観測地点を検索し、任意の気象データ（日平均気温、年間降水量、積雪量など）の年推移をグラフ化しなさい。また何が読み取れるかを簡単に記述しなさい。



例) 名古屋気象台の日平均・日最高・日最低気温の推移

演習問題 2

気象庁のホームページまたは理科年表を利用して、3つの地域のクリモグラフを作成し、これから何が読み取れるかを簡単に記述しなさい。

演習問題 3

気象庁のホームページまたは理科年表を利用して、自分の住む地域の夏季と冬季の卓越風を調べなさい（その地域で伝統的に使われている名称がある場合も多い。しばしば、〇〇おろし、と称される）。また、風を利用した伝統的な建築や都市のしくみがあるかどうか調べなさい。

演習問題 4

身近なところで気象観測がされている場所を見つけ、どんな機器が使われているかを観察しなさい。たとえば高速道路や高い場所にある線路沿いでは、交通機関への影響を考慮するため、しばしば風速が測定されている。