

2016年ノーベル生理学・医学賞 大隅良典先生(東京科学大学) ご紹介!

“現在、想像を遥かに超えた猛暑を経験し、いやが上にも我々の意識は、気温に向かう。地球上の生命は様々な温度に適応しながら様々な環境の下で生きている。温度を巡る生物学の諸問題を様々な分野の研究者が説き起こす本著は、まさに時宜を得たものである。”

2025年
10月刊行

熱中症や
冷え症は
なぜ起こる?

食べるものや
着るものとの
関係は?



暑い・寒いって
なんだろう?

健康・医学・
文化についても
情報満載

ヒトや動物・植物と温度のかかわりをわかりやすく解説

生き物と温度の事典

富永 真琴・加塩 麻紀子・関 原明・永島 計・山口 良文 [編集]

A5判/384頁

定価 13,200円 (本体 12,000円)

ISBN:978-4-254-17200-3 C3545

- **周囲の温度**は生き物にどう影響する? 生き物は**自分の体温**をどう調節している?
細胞レベルから行動レベルまで、見開き単位でわかりやすく解説
- **熱中症**やお風呂の**ヒートショック**をはじめ、ネッククーラーの**ペルチエ素子**、**冷え症**、**こたつ**、**温/冷シップ**、**桜の開花予想**など、身近な話題も多数

朝倉書店

95
SINCE 1929

「はじめに」より

(前略) 内温(恒温)動物である私たちヒトも、風邪をひけば体温が40度近くまで上がることがあるので、体温は必ずしも一定(恒温)ではないですし、1日の中でさえ体温のリズムがあり、「変温」します。また、ヒトを含めた哺乳類の体温が心理ストレス等によって上昇する現象が知られています。これは、体温が単に一定に保たれるだけの生体パラメーターなのではなく、様々な環境のストレスを生き抜くためにダイナミックに変動することを示しています。しかし、私たちヒトはリスのように冬眠できません、同じ霊長類である一部のサルは冬眠できるのに。

こうした温度の不思議を理解するために本書を企画しました。温度と生命の基礎、ヒト・医学、動物、植物の4つの部に分けて温度に関わる様々な情報、知識を詰め込んだ事典です。この事典を手にとって学ぶことで、「知恵熱」が出るかもしれません。この事典が、読者の方々の温度に関する理解を深める本となることを願っています。

編集者代表 富永真琴

執筆者一覧

◆編集者

| | |
|--------|----------------------|
| 富永 真琴 | 名古屋市立大学・生理学研究所(名誉教授) |
| 加塩 麻紀子 | 熊本大学 |
| 関 原明 | (国研)理化学研究所 |
| 永島 計 | 順天堂大学・早稲田大学(名誉教授) |
| 山口 良文 | 北海道大学 |

◆執筆者 [五十音順]

| | | | | | |
|--------|-------------------------------------|------------|--------------------------|--------|---------------------|
| 櫻場 葉留果 | (一社)ヤマネ・いきもの研究所 | 北田 研人 | 香川大学 | 中野 享 | (国研)産業技術総合研究所 |
| 赤司 寛志 | 駒澤大学 | 城所 聡 | 東京科学大学 | 中道 範人 | 名古屋大学 |
| 天野 達郎 | 新潟大学 | 木下 俊則 | 名古屋大学 | 中南 健太郎 | フォーデイス(株) |
| 荒川 和晴 | 慶應義塾大学 | 木村 洋子 | 静岡大学 | 中村 乙水 | 長崎大学 |
| 生駒 大洋 | 国立天文台 | 工藤 洋 | 京都大学 | 中山 友哉 | 名古屋大学 |
| 泉 洋平 | 鳥根大学 | 久原 篤 | 甲南大学 | 新妻 靖章 | 名城大学 |
| 伊藤 菊一 | 岩手大学 | 倉光 成 | 大阪大学名誉教授 | 西山 梢 | 東京科学大学 |
| 井上 芳光 | 大阪国際大学名誉教授 | 郡 和範 | 国立天文台・高エネルギー加速器研究機構・東京大学 | 西山 成 | 香川大学 |
| 猪熊 茂生 | 国立国府台医療センター | 後藤 英司 | 千葉大学 | 橋本 剛 | 筑波大学 |
| 猪股 直生 | 東北大学 | 小林 俊弘 | (国研)理化学研究所 | 長谷川 雅美 | 東邦大学名誉教授 |
| 岩崎 有作 | 京都府立大学 | 小宮 剛 | 東京大学 | 早坂 信哉 | 東京都市大学 |
| 上瀬 麻里 | 静岡県立大学 | 金 尚宏 | (国研)量子生命科学研究所 | 林 優紀 | 名古屋大学 |
| 上田 実 | (国研)理化学研究所 | 近藤 奈美 | 埼玉医科大学国際医療センター | 彦坂 幸毅 | 東北大学 |
| 歌 大介 | 富山大学 | 紺野 祥平 | (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 | 平田 耕造 | NPO法人AVA健康Labo |
| 宇高 寛子 | 岡山理科大学 | 齋藤 郁彦 | (国研)産業技術総合研究所 | 平塚 淳典 | (国研)産業技術総合研究所 |
| 内田 邦敏 | 静岡県立大学 | 齋藤 茂 | 長浜バイオ大学 | 広井 賀子 | 神奈川工科大学 |
| 内田 有希 | 昭和医科大学 | 齋藤 宏之 | (独)労働者健康安全機構 | 広瀬 駿 | (株)ウェザーマップ |
| 内海 真輝 | 福山大学 | 齋藤 昌之 | 北海道大学名誉教授 | 深沢 太子 | 京都教育大学 |
| 梅田 好郷 | ホロバイオ(株)・京都大学(名誉教授) | 齋藤 美穂 | 早稲田大学名誉教授 | 藤井 直人 | 筑波大学 |
| 浦野 千春 | (国研)産業技術総合研究所 | 崎尾 均 | 新潟大学 | 藤田 郁尚 | 大阪大学 |
| 王 勤学 | (国研)国立環境研究所 | 櫻井 康博 | (一財)日本気象協会 | 藤田 泰成 | (国研)国際農林水産業研究センター |
| 大栗 隆行 | 産業医科大学病院 | 佐竹 暁子 | 九州大学 | 細川 由梨 | 早稲田大学 |
| 大田 俊二 | 早稲田大学 | 佐藤 和広 | 摂南大学 | 前田 明里 | 名古屋大学 |
| 大谷 美沙都 | 東京大学 | 佐藤 純 | 中部大学 | 前田 智宏 | (株)南気象予報士事務所 |
| 小賀田 拓也 | (国研)国際農林水産業研究センター | 佐藤 暢夫 | 聖マリアンナ医科大学 | 前田 眞治 | 国際医療福祉大学名誉教授 |
| 岡畑 美咲 | 大阪大学 | 佐藤 雄大 | 新潟大学 | 増田 雄太 | 京都府立大学 |
| 岡部 弘基 | 東京大学 | 佐藤 陽子 | 鳥取大学 | 増富 祐司 | (国研)国立環境研究所 |
| 岡松 優子 | 北海道大学 | シェリフ 多田野サム | 琉球大学 | 松本 孝朗 | 中京大学 |
| 奥田 将生 | (独)酒類総合研究所 | 塩見 邦博 | 信州大学 | 丸井 朱里 | 慶應義塾大学 |
| 奥茂 敬恭 | 昭和医科大学 | 柴崎 貢志 | 長崎県立大学 | 圓山 恭之進 | (国研)国際農林水産業研究センター |
| 小倉 秀樹 | (国研)産業技術総合研究所 | 芝崎 学 | 奈良女子大学 | 三浦 恭子 | 九州大学 |
| 尾崎 聖 | (株)毎日放送 | 渋谷 岳造 | (国研)海洋研究開発機構 | 三浦 哲郎 | (国研)産業技術総合研究所 |
| 小沢 豪 | 明治大学 | 志水 泰武 | 岐阜大学 | 水野 一枝 | 和洋女子大学 |
| 加塩 麻紀子 | 熊本大学 | 清水 祐公子 | (国研)産業技術総合研究所 | 溝井 順哉 | 東京大学 |
| 片岡 直也 | 名古屋大学 | 鈴木 美和 | 日本大学 | 湊 秋作 | (一社)ヤマネ・いきもの研究所 |
| 加藤 光敏 | (医)光慈会 加藤内科クリニック | 砂川 玄志郎 | (国研)理化学研究所 | 南 利幸 | (株)南気象予報士事務所 |
| 門脇 辰彦 | Xi'an Jiaotong-Liverpool University | 関 原明 | (国研)理化学研究所 | 中原 弘 | 札幌医科大学 |
| 釜江 陽一 | 筑波大学 | 曾我部 隆彰 | 生命創成探究センター | 宮川 信一 | 東京理科大学 |
| 河合 研志 | 東京大学 | 曾根 正光 | 北海道大学 | 寛二 寛二 | 広島大学 |
| 川上 直人 | 明治大学 | 高橋 亘 | 国立天文台 | 圭子 圭子 | 広島大学 |
| 川瀬 宏明 | 気象庁気象研究所 | 高橋 大輔 | 埼玉大学 | 村岡 勇樹 | 東北大学 |
| 河村 泰樹 | (国研)産業技術総合研究所 | 田中 亮一 | 北海道大学 | 村上 光 | 静岡県立大学 |
| 菅野 洋光 | 東京都立大学 | 津釜 大侑 | 東京大学 | 森 雪永 | 甲南大学 |
| 黄川田 隆洋 | (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 | 塚本 大輔 | 北里大学 | 山口 智 | 埼玉医科大学 |
| 菊野 日出彦 | 東京農業大学 | 津田 栄 | 北海道大学 | 山口 良文 | 北海道大学 |
| | | 坪田 敏男 | 北海道大学 | 矢守 航 | 東京大学 |
| | | 時澤 健 | (独)労働安全衛生総合研究所 | 吉岡 洋輔 | 筑波大学 |
| | | 戸高 大輔 | (国研)理化学研究所 | 吉開 朋弘 | (一財)日本気象協会 |
| | | 富永 真琴 | 名古屋市立大学・生理学研究所(名誉教授) | 吉田 祐貴 | (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 |
| | | 鳥海 森 | (国研)宇宙航空研究開発機構 | 吉本 真由美 | (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 |
| | | 永井 健治 | 大阪大学 | 米代 武司 | 東北大学 |
| | | 永島 計 | 順天堂大学・早稲田大学(名誉教授) | 和沢 鉄一 | 大阪大学 |
| | | 永田 高志 | 自衛隊中央病院 | 渡邊 成樹 | 北彩都病院 |
| | | 長野 和雄 | 京都府立大学 | 渡邊 慎一 | 大同大学 |
| | | | | 渡邊 裕宣 | 昭和医科大学 |

第1部 温度と生命の基礎

- 1-1 温度計の発明・歴史と華氏・摂氏
 1-2 熱力学温度と温度の単位
 1-3 温度計と国際温度目盛
 1-4 ブラウン運動と熱雑音
 1-5 ベルチェ効果とゼーベック効果
 1-6 化学と温度・酵素反応速度論・ Q_{10}
 1-7 物質の三態と温度
 1-8 熱伝導率・比熱
 1-9 伝導・対流・放射
 1-10 宇宙の温度
 1-11 恒星の温度
 1-12 太陽の温度
 1-13 太陽系の温度
 1-14 地球史と温度の変遷
 COLUMN 1 6600万年前 地球の温度はどれだけ下がったか
 1-15 大気
 1-16 地球内部の温度
 1-17 生命の起源
 1-18 氷河期(氷期)
 1-19 地球温暖化
 1-20 温室効果
 COLUMN 2 華氏と摂氏の文化
 COLUMN 3 地球温暖化は寒い地域で良いことか?
 1-21 気候帯・気候区分
 1-22 地球上で人が住めるいちばん暑いところ・寒いところ
 1-23 気象と温度
 1-24 海水・海流の温度と生き物
 1-25 体感温度と気温・高度・風
 1-26 湿度と温度
 1-27 体温とは:歴史も含めて
 1-28 温度生物学の歴史
 1-29 不凍タンパク質
 1-30 温度センサー
 1-31 熱ショックタンパク質
 1-32 低温ショックタンパク質
 1-33 温度プローブ
 1-34 単一細胞内温度分布
 1-35 温度受容体:生命が温度を感じる基本ユニット
 1-36 温度感受性TRPチャネル
 1-37 TRPチャネル以外の温度感受性分子
 1-38 求心路と脳内の体温制御系まで:適応行動の種類
 1-39 細胞による温度感知
 1-40 体温調節の末梢機構(発汗・汗腺, 立毛, 血管収縮拡張)
 1-41 超好熱菌:高温適応戦略
 COLUMN 4 ほかほか感じることと体温上昇は別
 COLUMN 5 日本語と温度
 TOPICS 1 細胞に温度センサーを発現させて細胞機能を操作する
 COLUMN 6 日本酒と温度

第2部 ヒト・医学

- 2-1 ヒトの体温とは
 2-2 ヒトの産熱
 2-3 ヒトの放熱
 2-4 皮膚が温度を感じる
 2-5 発汗
 2-6 ヒトの褐色脂肪
 COLUMN 7 なぜ褐色脂肪は赤ちゃんに多いのか?
 COLUMN 8 知恵熱とは
 2-7 日内変動と性周期による変動・性差
 2-8 発育と体温調節
 2-9 老化と体温調節
 2-10 暑熱順化(馴化), 暑さに対するヒトの行動性体温調節

- 2-11 寒冷順化(馴化), 寒さに対するヒトの行動性体温調節
 COLUMN 9 おしくらまんじゅう
 COLUMN 10 寒いとおしこに行きたくするのは?
 2-12 体温調節の民族的差異
 2-13 発熱と解熱剤, 不明熱, 熱型など
 2-14 体温測定・体温計・熱計表
 2-15 体温と免疫
 2-16 入浴・ヒートショック
 2-17 温熱的快適性
 2-18 温泉, サウナ
 2-19 局所加温・局所冷却
 2-20 運動時の体温
 2-21 職場の温熱環境, 作業効率
 2-22 悪性高熱症
 2-23 温度による障害
 2-24 低体温症と高体温症
 2-25 冷え, 冷え症
 2-26 糖尿病と体温調節および温度感覚異常
 COLUMN 11 白湯の効果
 COLUMN 12 漢方薬と体温
 2-27 熱中症
 2-28 麻酔と体温
 2-29 がん治療としての温熱療法
 2-30 人工冬眠と医療応用の可能性
 2-31 選択的脳冷却
 TOPICS 2 創傷治療の先端部は温度が高い
 TOPICS 3 脳内の温度分布を見る
 2-32 気象病
 2-33 温度環境と循環器, 呼吸器疾患
 2-34 リウマチ, 膠原病と温度
 2-35 ホットフラッシュ(更年期障害)
 2-36 建築と温熱環境
 2-37 住居と体温, 伝統建築など
 2-38 こたつ
 2-39 寝具と温度
 2-40 衣服と体温
 2-41 作業服や防護服
 2-42 スポーツと衣服・防護服
 COLUMN 13 衣服の工夫
 COLUMN 14 温シッパ・冷シッパ
 2-43 味覚と温度
 COLUMN 15 「お腹を冷やすといけないうのはなぜ」
 COLUMN 16 食べ物と温度
 2-44 暖かい色, 寒い色およびその言語表現
 COLUMN 17 温度と痒み

第3部 動物

- 3-1 動物の体温維持の分類
 3-2 温度走性
 3-3 線虫の低温耐性
 3-4 ネムリユスリカの乾眠
 3-5 クマムシの極限環境耐性と温度適応
 3-6 ナメクジの温度適応
 3-7 昆虫の温度受容
 3-8 昆虫の低温耐性
 3-9 昆虫細胞の温度適応
 3-10 カイコと休眠
 3-11 ミツバチと温度
 3-12 魚・両生類・爬虫類の温度適応
 3-13 温度による性決定
 3-14 行動性体温調節(体温調節のための行動)
 COLUMN 18 動物における赤外線による温度上昇の感知メカニズム
 3-15 食事性体温調節
 3-16 サーカディアンリズムと温度補償性
 3-17 魚の温度適応
 3-18 メダカの子節応答
 3-19 マンボウの採餌のための体温調節
 3-20 夏眠

- 3-21 トカゲの温度適応
 3-22 恐竜の体温
 3-23 海鳥類の体温調節
 3-24 哺乳類のサイズと温度
 3-25 哺乳類細胞の温度適応
 3-26 熱産生機構
 3-27 ベージュ脂肪細胞:白色脂肪組織の褐色化
 COLUMN 19 睾丸はなぜ身体の外?
 COLUMN 20 ヘビがいるかないかでトカゲの体温が変わる!
 3-28 イルカの体温調節
 3-29 低体温なハダカデバネズミ
 3-30 ラクダの独特な体温調節機構
 3-31 哺乳類の冬眠
 3-32 ハムスターの冬眠と季節適応
 3-33 リスと冬眠
 3-34 ヤマネの冬眠
 3-35 コウモリの温度適応
 3-36 クマの冬眠
 3-37 冬眠する霊長類
 3-38 環境・気候変動と生物・生態系
 COLUMN 21 蚊は体温の暖かさを求めて寄ってくる

第4部 植物

- 4-1 植物の生育適温
 4-2 植物が高温に適応する仕組み
 4-3 植物が低温に適応する仕組み
 4-4 植物の高温耐性を高める方法
 4-5 植物の低温耐性を高める方法
 4-6 種子の休眠・発芽と温度
 4-7 季節変化と開花
 4-8 熱帯雨林の一斉開花現象
 COLUMN 22 気温に正直? 桜の開花予想
 4-9 花粉の飛散と気温
 4-10 作物の低温障害
 4-11 森林限界
 4-12 植物の耐寒性
 4-13 植物の体温はどのようにして決まるのか
 COLUMN 23 植物も汗をかく
 COLUMN 24 寒締め菜っ葉
 4-14 温度と光合成
 4-15 低温下の光合成
 4-16 光合成の温度馴化
 4-17 時計の温度補償性
 4-18 高温ストレスとエビジェネティクス
 4-19 温度適応におけるRNA制御
 4-20 温度と植物の器官再生
 4-21 地球温暖化が農作物に及ぼす影響および適応策
 4-22 イネの登熟期における高温障害
 4-23 ムギ類の温度反応
 4-24 カーボンニュートラルに貢献する熱帯作物キャッサバ
 4-25 熱帯起源のヤマイモたち
 4-26 過酷環境に耐える高栄養価作物キヌア
 4-27 熱帯作物コーヒーノキ
 4-28 乾燥と高温に強い作物トウジンビエ
 4-29 熱帯野菜アマランサス
 4-30 トマトの生育適温と高温障害および高温耐性機構
 4-31 温度を感じる植物ザンセンノウ
 4-32 植物工場
 4-33 植物の培養細胞・組織の超低温保存
 TOPICS 4 「レインツリー」は温度を感じて葉を閉じる

事項索引
 生物名索引

3-21

トカゲの温度適応

外温性動物であるトカゲは、哺乳類や鳥類と同様に代謝熱を産生するもの、熱生産量は初温性の動物に比べてはるかに小さく、環境の温度変化の影響を強く受けやすい。そのため、トカゲは温度変化によって動物がどのような影響を受けるかを研究するための優れたモデルとして注目されてきた。トカゲは、日光を浴びながら岩陰など環境の基質を利用して行動しており、日光や冷たい環境の基質を利用して日光を失う(図1)。このように体温を調節するための行動は体温調節行動(thermoregulatory behavior)である。トカゲは環境の温度変化に合わせた体温調節行動によって、体温を安定に保ち、活動性を維持している(図2)。

トカゲは最適温度(optimal temperature)と呼ばれる、体温が最適温度から逸脱するにつれて、行動能力は低下する。トカゲはどんな体温でも活動的であり、体温が最適温度から逸脱するにつれて、代謝や採餌などの行動によって異なる可能性が生まれる。最適温度は、代謝や採餌などの行動によって異なる可能性が生まれる。最適温度は、代謝や採餌などの行動によって異なる可能性が生まれる。最適温度は、代謝や採餌などの行動によって異なる可能性が生まれる。

COLUMN 23 植物も汗をかく

意外に思われるかもしれないが、植物もまた、私たちと同様に汗をかく。植物の汗は気孔と呼ばれる微小な孔を通じて水蒸気として放出されている(図1)。この過程は「蒸散」と呼ばれ、植物の成長や環境応答に重要な役割を果たしている。気孔は植物の表面に存在し、主に葉や茎といった地上部に集中している。植物の表面はクチクラと呼ばれる気体を通さないワックス層に覆われており、気孔を通じての気体の出入口となる。蒸散は植物が二酸化炭素を取り込み光合成の材料とし、光合成で発生した酸素を放出し、私たちの生命活動を支えている。これと同時に蒸散も起る。



図1 同じマルバツユクサの気孔。径は20μm。



図2 マルバツユクサの茎の温度(上)と茎の表面温度(下)。右の計測には気孔開閉による蒸散の影響が考慮されている。

蒸散は水分の放出は植物のしおれにつながるため、植物は乾燥を感じると気孔を閉じ、気体の出入りを抑制している。植物が汗をかく、つまり蒸散を行うことは、私たちが汗をかくのと同様に体温調節の意味も持っている。蒸散は植物が水分を蒸気として放出する際に気化熱を奪うため、蒸散が盛んな葉では温度が低下する。砂漠のような高温下で生育する植物の中には、蒸散を抑制して蒸散を盛んにすることで、蒸散を低下させ、砂漠の過酷な高温条件に適応しているものも存在する。赤外線センサーを用いることで、蒸散の表面温度を測定することができ、蒸散の蒸散量を間接的に評価する手法として、蒸散計に用いられている(図2)。蒸散計は葉から水を吸い上げる流れ(蒸散)を測定し、これにより蒸散量を測定する。蒸散は、年間70~100mm、これは大気中の水分量の約10%に相当する。植物が汗をかくのは、蒸散だけでなく、大きく蒸散している。

参考文献
● 長崎一郎、藤、生命科学、植物の蒸散を測るもの、農業科学、2019年、10月号、10-15頁

1-1

温度計の発明・歴史と華氏・摂氏

温度は気温や体温のように至極普通に測定されている物理量である。家庭にあるエアコン、冷蔵庫、PC、スマートフォンの中など、温度センサーは身の回りに沢山存在する。しかし、「そもそも温度計とは誰が最初に作ったのだろうか?」ということに意外と知られていない。

◆温度計の誕生
液体や気体は、温度の変化により、その体積が膨張・収縮することは、紀元前から知られていた。この温度変化による体積変化を、目で観測できる装置をガリレオ(Galileo)は作り(16世紀後半)、その現象を学生に見せていた。そして、その装置に、ガリレオの友人のサグレド(Sagredo)が温度目盛を付けて、気温の観測を始めたのが、温度目盛付き温度計の起源であるとされている。

液体が温度変化により体積変化を生じ、その結果として密度が変わることを利用し、液体中のフロートの浮き沈みで温度を観測する温度計も開発している。これが現在、キトウなどで販売されているガリレオ温度計の起源である。

◆温度目盛の発明
サグレドが作った温度目盛は、雪に埋められた水の温度を0度、雪を100度とした2つの基準点を用いて作られていた。この温度目盛では冬の室内の温度は130度、夏の最も暑い日の気温は300度であった。その間接的な目盛は、気温目盛として用いられ、18世紀初め、それによって、温度目盛が広く知られるようになった。

2-40

衣服と体温

衣服を能動的に使用する行動は、ヒトのみならず、他の動物にも見られる。この特徴的な行動には、生理学的目的と社会的目的がある。現代社会では、後者の社会規範や自己表現など社会的役割が重視されることになり、しかし、体温を安定に保つには、図1に示すような、身体活動と気温に応じた衣服の着用(調節)が不可欠であり、衣服の調節は、体温調節の重要な手段として機能している。暑いときには、涼しい衣服を着用し、寒いときには、暖かい衣服を着用する。このように、衣服は、体温調節の重要な手段として機能している。

◆衣服の誕生と民族衣装
裸体のヒトが生存に耐え得る気温は、10~35度程度と非常に狭い。温帯をアフリカで生活していたヒトが、寒帯から熱帯の幅広い気候帯を示す広い地球上に生活圏を拡大するためには、身体を保護したり、

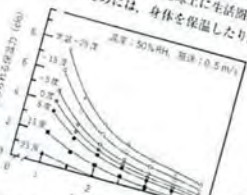


図1 体からの熱が周囲に行われる場合は、身体活動量と気温に応じて衣服に求められる断熱性(熱抵抗)は、(A)に基づいて算出される。



図2 アフリカ大陸・トウアレグ族(次)の民族衣装は、日射と砂漠から身体を保護するために、全身を覆った衣服で覆う。夏には高湿度では、気流と湿度の両方に応じて調節する必要がある。

読者対象

生物学・生化学・物理学などの学生や研究者、医師・医療従事者、中学や高校の理科教員、興味がある高校生以上の一般読者など

【お申込み書】このお申込み書にご記入の上、最寄りの書店にご注文ください。

生き物と温度の事典

定価 13,200円(本体 12,000円+税)
978-4-254-17200-3

■お名前 _____ 冊 _____
□公費 / □私費
■ご住所(〒 _____) TEL. _____

生き物と
温度
の
事典



[編集]

富永真琴・加塩麻紀子
関 原明・永島 計・山口良文

朝倉書店

はじめに

地球温暖化が叫ばれて久しく、今も毎年、地球の平均気温は上昇しています。それによると、考えられる異常気象も増えています。また、夏になると、熱中症が起りやすく、毎年、多くの方が亡くなっています。一方、私たちは毎日、ニュースで翌日の天気のみならず最低気温、最高気温を気にしています。それは服装や行動計画を立てる上で温度は非常に重要な情報だからです。このように、温度は私たちの生活と切っても切れない関係にあるのですが、私たちは温度のことをあまりよく理解していないかもしれません。

環境温度の感知は地球上の生物の生存にとって重要な機能の一つであり、ヒトを含む哺乳類や鳥類などの内温（恒温）動物をはじめ、両生類、爬虫類、魚類といった外温（変温）動物、さらには無脊椎動物や単細胞生物に至るまで必須の機能です。これはすべての生理応答が温度に依存して変動するため、それぞれに適した生育環境を得るために生物は進化の過程で多様な温度感知機構と温度適応性を発達させてきました。摂氏0度で生存する生物もいれば、超好熱菌のように摂氏80度以上の温度を好む生物もいます。一方、動物は温度を感知して行動することができますが、植物は動くことができません。植物はよりすぐれた温度適応能力を身につけてきたと考えることができます。

内温（恒温）動物である私たちヒトも、風邪をひけば体温が40度近くまで上がるがあるので、体温は必ずしも一定（恒温）ではないですし、1日の中でさえ体温のリズムがあり、「変温」します。また、ヒトを含めた哺乳類の体温が心理ストレス等によって上昇する現象が知られています。これは、体温が単に一定に保たれるだけの生体パラメーターではなく、様々な環境のストレスを生き抜くためにダイナミックに変動することを示しています。しかし、私たちヒトはリスのように冬眠できません、同じ霊長類である一部のサルは冬眠できるのに。

こうした温度の不思議を理解するために本書を企画しました。温度と生命の基礎、ヒト・医学、動物、植物の4つの部に分けて温度に関わる様々な情報、知識を詰め込んだ事典です。この事典を手にとって学ぶことで、「知恵熱」が出るかもしれません。この事典が、読者の方々の温度に関する理解を深める本となることを願っています。

2025年9月

編集者代表 富永真琴

編集者

- 富永真琴 名古屋市立大学・生理学研究所 (名誉教授) (第1部)
加塩麻紀子 熊本大学 (第1部)
関原明 (国研) 理化学研究所 (第4部)
永島計 順天堂大学・早稲田大学 (名誉教授) (第2部)
山口良文 北海道大学 (第3部)

執筆者 (五十音順)

- | | |
|-------------------------------|--|
| 饗場葉留果 (一社) ヤマネ・いきもの 研究所 | 王勤学 (国研) 国立環境研究所 |
| 赤司寛志 駒澤大学 | 大栗隆行 産業医科大学病院 |
| 天野達郎 新潟大学 | 太田俊二 早稲田大学 |
| 荒川和晴 慶應義塾大学 | 大谷美沙都 東京大学 |
| 生駒大洋 国立天文台 | 小賀田拓也 (国研) 国際農林水産業研究 センター |
| 泉洋平 島根大学 | 岡畑美咲 大阪大学 |
| 伊藤菊一 岩手大学 | 岡部弘基 東京大学 |
| 井上芳光 大阪国際大学名誉教授 | 岡松優子 北海道大学 |
| 猪熊茂子 国立国府台医療センター | 奥田将生 (独) 酒類総合研究所 |
| 猪股直生 東北大学 | 奥茂敬恭 昭和医科大学 |
| 岩崎有作 京都府立大学 | 小倉秀樹 (国研) 産業技術総合研究所 |
| 岩瀬麻里 静岡県立大学 | 尾寄豪 (株) 毎日放送 |
| 上田実 (国研) 理化学研究所 | 小沢聖 明治大学 |
| 上田実 東北大学 | 加塩麻紀子 熊本大学 |
| 歌大介 富山大学 | 片岡直也 名古屋大学 |
| 宇高寛子 岡山理科大学 | 加藤光敏 (医) 光慈会 加藤内科クリ ニック |
| 内田邦敏 静岡県立大学 | 門脇辰彦 Xian Jiaotong-Liverpool University |
| 内田有希 昭和医科大学 | 釜江陽一 筑波大学 |
| 内海好規 福山大学 | 河合研志 東京大学 |
| 梅田真郷 ホロボイオ (株)・京都大学 (名誉教授) | 川上直人 明治大学 |
| 浦野千春 (国研) 産業技術総合研究所 | 川瀬宏明 気象庁気象研究所 |

| | | | |
|--------|--------------------------|-----------|----------------------------|
| 河村 泰樹 | (国研)産業技術総合研究所 | 佐藤 雄大 | 新潟大学 |
| 菅野 洋光 | 東京都立大学 | 佐藤 陽子 | 鳥取大学 |
| 黄川田 隆洋 | (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 | シェリフ多田野サム | 琉球大学 |
| 菊野 日出彦 | 東京農業大学 | 塩見 邦博 | 信州大学 |
| 北田 研人 | 香川大学 | 柴崎 貢志 | 長崎県立大学 |
| 城所 聡 | 東京科学大学 | 芝崎 学 | 奈良女子大学 |
| 木下 俊則 | 名古屋大学 | 渋谷 岳造 | (国研)海洋研究開発機構 |
| 木村 洋子 | 静岡大学 | 志水 泰武 | 岐阜大学 |
| 工藤 洋 | 京都大学 | 清水 祐公子 | (国研)産業技術総合研究所 |
| 久原 篤 | 甲南大学 | 鈴木 美和 | 日本大学 |
| 倉光 成紀 | 大阪大学名誉教授 | 砂川 玄志郎 | (国研)理化学研究所 |
| 郡 和範 | 国立天文台・高エネルギー加速器研究機構・東京大学 | 関 原明 | (国研)理化学研究所 |
| 後藤 英司 | 千葉大学 | 曾我部 隆彰 | 生命創成探究センター |
| 小林 俊弘 | (国研)理化学研究所 | 曾根 正光 | 北海道大学 |
| 小宮 剛 | 東京大学 | 高橋 亘 | 国立天文台 |
| 金 尚宏 | (国研)量子生命科学研究所 | 高橋 大輔 | 埼玉大学 |
| 近藤 奈美 | 埼玉医科大学国際医療センター | 田中 亮一 | 北海道大学 |
| 紺野 祥平 | (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 | 津釜 大侑 | 東京大学 |
| 斉藤 郁彦 | (国研)産業技術総合研究所 | 塚本 大輔 | 北里大学 |
| 齋藤 茂 | 長浜バイオ大学 | 津田 栄 | 北海道大学 |
| 齊藤 宏之 | (独)労働者健康安全機構 | 坪田 敏男 | 北海道大学 |
| 斉藤 昌之 | 北海道大学名誉教授 | 時澤 健 | (独)労働安全衛生総合研究所 |
| 齋藤 美穂 | 早稲田大学名誉教授 | 戸高 大輔 | (国研)理化学研究所 |
| 崎尾 均 | 新潟大学 | 富永 真琴 | 名古屋市立大学・生理学研究 研究所(名誉教授) |
| 櫻井 康博 | (一財)日本気象協会 | 鳥海 森 | (国研)宇宙航空研究開発機構 |
| 佐竹 暁子 | 九州大学 | 永井 健治 | 大阪大学 |
| 佐藤 和広 | 摂南大学 | 永島 計 | 順天堂大学・早稲田大学(名 誉教授) |
| 佐藤 純 | 中部大学 | 永田 高志 | 自衛隊中央病院 |
| 佐藤 暢夫 | 聖マリアンナ医科大学 | 長野 和雄 | 京都府立大学 |

| | | | |
|--------|--------------------|--------|----------------------|
| 中野 享 | (国研) 産業技術総合研究所 | 丸井 朱里 | 慶應義塾大学 |
| 中道 範人 | 名古屋大学 | 圓山 恭之進 | (国研) 国際農林水産業研究センター |
| 中南 健太郎 | フォーアイズ(株) | 三浦 恭子 | 九州大学 |
| 中村 乙水 | 長崎大学 | 三澤 哲郎 | (国研) 産業技術総合研究所 |
| 中山 友哉 | 名古屋大学 | 水野 一枝 | 和洋女子大学 |
| 新妻 靖章 | 名城大学 | 溝井 順哉 | 東京大学 |
| 西田 梢 | 東京科学大学 | 湊 秋作 | (一社) ヤマネ・いきもの研究所 |
| 西山 成 | 香川大学 | 南 利幸 | (株) 南気象予報士事務所 |
| 橋本 剛 | 筑波大学 | 三原 弘 | 札幌医科大学 |
| 長谷川 雅美 | 東邦大学名誉教授 | 宮川 信一 | 東京理科大学 |
| 早坂 信哉 | 東京都市大学 | 三好 寛二 | 広島大学 |
| 林 優紀 | 名古屋大学 | 向田 圭子 | 広島大学 |
| 彦坂 幸毅 | 東北大学 | 村岡 勇樹 | 東北大学 |
| 平田 耕造 | NPO 法人 AVA 健康 Labo | 村上 光 | 静岡県立大学 |
| 平塚 淳典 | (国研) 産業技術総合研究所 | 森 雪永 | 甲南大学 |
| 広井 賀子 | 神奈川工科大学 | 山口 智 | 埼玉医科大学 |
| 広瀬 駿 | (株) ウェザーマップ | 山口 良文 | 北海道大学 |
| 深沢 太香子 | 京都教育大学 | 矢守 航 | 東京大学 |
| 藤井 直人 | 筑波大学 | 吉岡 洋輔 | 筑波大学 |
| 藤田 郁尚 | 大阪大学 | 吉開 朋弘 | (一財) 日本気象協会 |
| 藤田 泰成 | (国研) 国際農林水産業研究センター | 吉田 祐貴 | (国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 |
| 細川 由梨 | 早稲田大学 | 吉本 真由美 | (国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 |
| 前田 明里 | 名古屋大学 | 米代 武司 | 東北大学 |
| 前田 智宏 | (株) 南気象予報士事務所 | 和沢 鉄一 | 大阪大学 |
| 前田 眞治 | 国際医療福祉大学名誉教授 | 渡邊 成樹 | 北彩都病院 |
| 増田 雄太 | 京都府立大学 | 渡邊 慎一 | 大同大学 |
| 増富 祐司 | (国研) 国立環境研究所 | 渡邊 裕宣 | 昭和医科大学 |
| 松本 孝朗 | 中京大学 | | |

目 次

第1部 温度と生命の基礎

| | | | |
|----------|--------------------------|--------------|----|
| 1-1 | 温度計の発明・歴史と華氏・摂氏 | 〔中野 享〕 | 2 |
| 1-2 | 熱力学温度と温度の単位 | 〔三澤哲郎〕 | 4 |
| 1-3 | 温度計と国際温度目盛 | 〔河村泰樹〕 | 6 |
| 1-4 | ブラウン運動と熱雑音 | 〔浦野千春〕 | 8 |
| 1-5 | ベルチェ効果とゼーベック効果 | 〔小倉秀樹〕 | 10 |
| 1-6 | 化学と温度・酵素反応速度論・ Q_{10} | 〔平塚淳典〕 | 12 |
| 1-7 | 物質の三態と温度 | 〔斉藤郁彦〕 | 14 |
| 1-8 | 熱伝導率・比熱 | 〔猪股直生〕 | 16 |
| 1-9 | 伝導・対流・放射 | 〔清水祐公子〕 | 18 |
| 1-10 | 宇宙の温度 | 〔郡 和範〕 | 20 |
| 1-11 | 恒星の温度 | 〔高橋 亘〕 | 24 |
| 1-12 | 太陽の温度 | 〔鳥海 森〕 | 26 |
| 1-13 | 太陽系の温度 | 〔生駒大洋〕 | 28 |
| 1-14 | 地球史と温度の変遷 | 〔小宮 剛〕 | 30 |
| COLUMN 1 | 6600 万年前 地球の温度はどれだけ下がったか | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 33 |
| 1-15 | 大気 of 温度 | 〔生駒大洋〕 | 34 |
| 1-16 | 地球内部の温度 | 〔河合研志〕 | 36 |
| 1-17 | 生命の起源 | 〔渋谷岳造〕 | 38 |
| 1-18 | 氷河期 (氷期) | 〔シェリフ多田野サム〕 | 40 |
| 1-19 | 地球温暖化 | 〔釜江陽一〕 | 42 |
| 1-20 | 温室効果 | 〔生駒大洋〕 | 44 |
| COLUMN 2 | 華氏と摂氏の文化 | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 46 |
| COLUMN 3 | 地球温暖化は寒い地域で良いことか? | 〔王 勤学〕 | 47 |
| 1-21 | 気候帯・気候区分 | 〔櫻井康博〕 | 48 |
| 1-22 | 地球上で人が住めるいちばん暑いところ・寒いところ | 〔前田智宏〕 | 50 |
| 1-23 | 気象と温度 | 〔南 利幸〕 | 52 |

| | | | |
|----------|----------------------------|--------------|----|
| 1-24 | 海水・海流の温度と生き物 | 〔尾寄 豪〕 | 54 |
| 1-25 | 体感温度と気温・高度・風 | 〔吉開朋弘〕 | 56 |
| 1-26 | 温度と湿度 | 〔川瀬宏明〕 | 58 |
| 1-27 | 体温とは：歴史も含めて | 〔梅田真郷〕 | 60 |
| 1-28 | 温度生物学の歴史 | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 62 |
| 1-29 | 不凍タンパク質 | 〔津田 栄〕 | 64 |
| 1-30 | 温度センサー | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 66 |
| 1-31 | 熱ショックタンパク質 | 〔木村洋子〕 | 68 |
| 1-32 | 低温ショックタンパク質 | 〔志水泰武〕 | 70 |
| 1-33 | 温度プローブ | 〔和沢鉄一・永井健治〕 | 72 |
| 1-34 | 単一細胞内温度分布 | 〔岡部弘基〕 | 74 |
| 1-35 | 温度受容体：生命が温度を感知する基本ユニット | 〔柴崎眞志〕 | 76 |
| 1-36 | 温度感受性 TRP チャネル | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 78 |
| 1-37 | TRP チャネル以外の温度感受性分子 | 〔曾我部隆彰〕 | 80 |
| 1-38 | 求心路と脳内の体温制御系まで：適応行動の種類 | 〔片岡直也〕 | 82 |
| 1-39 | 細胞による温度感知 | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 84 |
| 1-40 | 体温調節の末梢機構（発汗・汗腺，立毛，血管収縮拡張） | | |
| | | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 86 |
| 1-41 | 超好熱菌：高温適応戦略 | 〔倉光成紀〕 | 88 |
| COLUMN 4 | ほかほか感じることと体温上昇は別 | | |
| | | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 90 |
| COLUMN 5 | 日本語と温度 | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 91 |
| TOPICS 1 | 細胞に温度センサーを発現させて細胞機能を操作する | | |
| | | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 92 |
| COLUMN 6 | 日本酒と温度 | 〔奥田将生〕 | 93 |

第2部 ヒト・医学

| | | | |
|----------|-------------------|-------------|-----|
| 2-1 | ヒトの体温とは | 〔永島 計〕 | 96 |
| 2-2 | ヒトの産熱 | 〔内田邦敏・岩瀬麻里〕 | 98 |
| 2-3 | ヒトの放熱 | 〔平田耕造〕 | 100 |
| 2-4 | 皮膚が温度を感じる | 〔藤田郁尚〕 | 102 |
| 2-5 | 発汗 | 〔藤井直人〕 | 104 |
| 2-6 | ヒトの褐色脂肪 | 〔米代武司〕 | 106 |
| COLUMN 7 | なぜ褐色脂肪は赤ちゃんに多いのか？ | 〔斉藤昌之〕 | 108 |

| | | |
|---------------------------------|--------------|-----|
| COLUMN 8 知恵熱とは | 〔片岡直也〕 | 109 |
| 2-7 日内変動と性周期による変動・性差 | 〔丸井朱里〕 | 110 |
| 2-8 発育と体温調節 | 〔井上芳光・天野達郎〕 | 112 |
| 2-9 老化と体温調節 | 〔井上芳光・天野達郎〕 | 114 |
| 2-10 暑熱順化(馴化), 暑さに対するヒトの行動性体温調節 | 〔増田雄太〕 | 116 |
| 2-11 寒冷順化(馴化), 寒さに対するヒトの行動性体温調節 | 〔増田雄太〕 | 118 |
| COLUMN 9 おしくらまんじゅう | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 120 |
| COLUMN 10 寒いとおしっこに行きたくなるのは? | 〔渡邊成樹〕 | 121 |
| 2-12 体温調節の民族的差異 | 〔松本孝朗〕 | 122 |
| 2-13 発熱と解熱剤, 不明熱, 熱型など | 〔佐藤暢夫〕 | 124 |
| 2-14 体温測定・体温計・熱計表 | 〔永島 計〕 | 126 |
| 2-15 体温と免疫 | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 128 |
| 2-16 入浴・ヒートショック | 〔早坂信哉〕 | 130 |
| 2-17 温熱的快適性 | 〔永島 計〕 | 132 |
| 2-18 温泉, サウナ | 〔前田眞治〕 | 134 |
| 2-19 局所加温・局所冷却 | 〔時澤 健〕 | 136 |
| 2-20 運動時の体温 | 〔芝崎 学〕 | 138 |
| 2-21 職場の温熱環境, 作業効率 | 〔齊藤宏之〕 | 140 |
| 2-22 悪性高熱症 | 〔三好寛二・向田圭子〕 | 142 |
| 2-23 温度による障害 | 〔永田高志〕 | 144 |
| 2-24 低体温症と高体温症 | 〔佐藤暢夫〕 | 146 |
| 2-25 冷え, 冷え症 | 〔内田有希・奥茂敬恭〕 | 148 |
| 2-26 糖尿病と体温調節および温度感覚異常 | 〔加藤光敏〕 | 150 |
| COLUMN 11 白湯の効果 | 〔三原 弘〕 | 152 |
| COLUMN 12 漢方薬と体温 | 〔近藤奈美・山口 智〕 | 153 |
| 2-27 熱中症 | 〔細川由梨〕 | 154 |
| 2-28 麻酔と体温 | 〔佐藤暢夫〕 | 156 |
| 2-29 がん治療としての温熱療法 | 〔大栗隆行〕 | 158 |
| 2-30 人工冬眠と医療応用の可能性 | 〔砂川玄志郎〕 | 160 |
| 2-31 選択的脳冷却 | 〔渡邊裕宣〕 | 162 |
| TOPICS 2 創傷治癒の先端部は温度が高い | 〔広井賀子〕 | 164 |
| TOPICS 3 脳内の温度分布を見る | 〔柴崎貢志〕 | 165 |
| 2-32 気象病 | 〔佐藤 純〕 | 166 |
| 2-33 温度環境と循環器, 呼吸器疾患 | 〔佐藤 純〕 | 168 |
| 2-34 リウマチ, 膠原病と温度 | 〔猪熊茂子〕 | 170 |

| | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------|-----|
| 2-35 | ホットフラッシュ (更年期障害) | [内田有希・奥茂敬恭] | 172 |
| 2-36 | 建築と温熱環境 | [長野和雄] | 174 |
| 2-37 | 住居と体温, 伝統建築など | [橋本 剛] | 176 |
| 2-38 | こ た つ | [渡邊慎一] | 178 |
| 2-39 | 寝具と温度 | [水野一枝] | 180 |
| 2-40 | 衣服と体温 | [深沢太香子] | 182 |
| 2-41 | 作業服や防護服 | [時澤 健] | 184 |
| 2-42 | スポーツと衣服・防護服 | [細川由梨] | 186 |
| COLUMN 13 | 衣服の工夫 | [時澤 健] | 188 |
| COLUMN 14 | 温シップ・冷シップ | [加塩麻紀子・富永真琴] | 189 |
| 2-43 | 味覚と温度 | [内田邦敏・岩瀬麻里] | 190 |
| COLUMN 15 | 「お腹を冷やすといけない」のはなぜ? | [三原 弘] | 192 |
| COLUMN 16 | 食べ物と温度 | [加塩麻紀子・富永真琴] | 193 |
| 2-44 | 暖かい色, 寒い色およびその言語表現 | [齋藤美穂] | 194 |
| COLUMN 17 | 温度と痒み | [歌 大介] | 196 |

第3部 動物

| | | | |
|-----------|--------------------------------|--------------------|-----|
| 3-1 | 動物の体温維持の分類 | [山口良文] | 198 |
| 3-2 | 温度走性 | [岡畑美咲・久原 篤] | 200 |
| 3-3 | 線虫の低温耐性 | [森 雪永・久原 篤] | 202 |
| 3-4 | ネムリユスリカの乾眠 | [吉田祐貴・黄川田隆洋] | 204 |
| 3-5 | クマムシの極限環境耐性と温度適応 | [荒川和晴] | 206 |
| 3-6 | ナメクジの温度適応 | [宇高寛子] | 208 |
| 3-7 | 昆虫の温度受容 | [曾我部隆彰] | 210 |
| 3-8 | 昆虫の低温耐性 | [泉 洋平] | 212 |
| 3-9 | 昆虫細胞の温度適応 | [村上 光] | 214 |
| 3-10 | カイコと休眠 | [塩見邦博] | 216 |
| 3-11 | ミツバチと温度 | [門脇辰彦] | 218 |
| 3-12 | 魚・両生類・爬虫類の温度適応 | [齋藤 茂] | 220 |
| 3-13 | 温度による性決定 | [宮川信一] | 222 |
| 3-14 | 行動性体温調節 (体温調節のための行動) | [山口良文] | 224 |
| COLUMN 18 | 動物における赤外線による温度上昇の感知メカニズム | [加塩麻紀子・富永真琴] | 225 |
| 3-15 | 食事性体温調節 | [岩崎有作] | 226 |

| | | | |
|-----------|-----------------------|--------------|-----|
| 3-16 | サーカディアンリズムと温度補償性 | 〔金 尚宏〕 | 228 |
| 3-17 | 魚の温度適応 | 〔梅田眞郷〕 | 230 |
| 3-18 | メダカの季節応答 | 〔中山友哉〕 | 232 |
| 3-19 | マンボウの採餌のための体温調節 | 〔中村乙水〕 | 234 |
| 3-20 | 夏 眠 | 〔北田研人・西山 成〕 | 236 |
| 3-21 | トカゲの温度適応 | 〔赤司寛志〕 | 238 |
| 3-22 | 恐竜の体温 | 〔加塩麻紀子・富永真琴〕 | 240 |
| 3-23 | 海鳥類の体温調節 | 〔新妻靖章〕 | 242 |
| 3-24 | 哺乳類のサイズと温度 | 〔坪田敏男〕 | 244 |
| 3-25 | 哺乳類細胞の温度適応 | 〔曾根正光〕 | 246 |
| 3-26 | 熱産生機構 | 〔岩瀬麻里・内田邦敏〕 | 248 |
| 3-27 | ベージュ脂肪細胞：白色脂肪組織の褐色化 | 〔岡松優子〕 | 250 |
| COLUMN 19 | 睾丸はなぜ身体の外？ | 〔佐藤陽子〕 | 252 |
| COLUMN 20 | ヘビがいるかないかでトカゲの体温が変わる！ | 〔長谷川雅美〕 | 253 |
| 3-28 | イルカの体温調節 | 〔鈴木美和〕 | 254 |
| 3-29 | 低体温なハダカデバネズミ | 〔三浦恭子〕 | 256 |
| 3-30 | ラクダの独特な体温調節機構 | 〔永島 計〕 | 258 |
| 3-31 | 哺乳類の冬眠 | 〔山口良文〕 | 260 |
| 3-32 | ハムスターの冬眠と季節適応 | 〔山口良文〕 | 262 |
| 3-33 | リスと冬眠 | 〔塚本大輔〕 | 264 |
| 3-34 | ヤマネの冬眠 | 〔湊 秋作・饗場葉留果〕 | 266 |
| 3-35 | コウモリの温度適応 | 〔佐藤雄大〕 | 268 |
| 3-36 | クマの冬眠 | 〔坪田敏男〕 | 270 |
| 3-37 | 冬眠する霊長類 | 〔山口良文〕 | 272 |
| 3-38 | 環境・気候変動と生物・生態系 | 〔西田 梢〕 | 274 |
| COLUMN 21 | 蚊は体温の暖かさを求めて寄ってくる | 〔曾我部隆彰〕 | 276 |

第4部 植 物

| | | | |
|-----|---------------|--------------|-----|
| 4-1 | 植物の生育適温 | 〔太田俊二〕 | 278 |
| 4-2 | 植物が高温に適応する仕組み | 〔溝井順哉〕 | 280 |
| 4-3 | 植物が低温に適応する仕組み | 〔城所 聡〕 | 284 |
| 4-4 | 植物の高温耐性を高める方法 | 〔戸高大輔・関 原明〕 | 288 |
| 4-5 | 植物の低温耐性を高める方法 | 〔中南健太郎・関 原明〕 | 290 |

| | | | |
|-----------|--------------------------|---------------------------|-----|
| 4-6 | 種子の休眠・発芽と温度 | 〔川上直人〕 | 292 |
| 4-7 | 季節変化と開花 | 〔工藤 洋〕 | 294 |
| 4-8 | 熱帯雨林の一斉開花現象 | 〔佐竹暁子〕 | 296 |
| COLUMN 22 | 気温に正直？ 桜の開花予想 | 〔広瀬 駿〕 | 297 |
| 4-9 | 花粉の飛散と気温 | 〔南 利幸〕 | 298 |
| 4-10 | 作物の低温障害 | 〔菅野洋光・紺野祥平〕 | 300 |
| 4-11 | 森林限界 | 〔崎尾 均〕 | 302 |
| 4-12 | 植物の耐凍性 | 〔高橋大輔〕 | 304 |
| 4-13 | 植物の体温はどのようにして決まるのか | 〔吉本真由美〕 | 306 |
| COLUMN 23 | 植物も汗をかく | 〔林 優紀・木下俊則〕 | 308 |
| COLUMN 24 | 寒締め菜っ葉 | 〔小沢 聖〕 | 309 |
| 4-14 | 温度と光合成 | 〔彦坂幸毅〕 | 310 |
| 4-15 | 低温下の光合成 | 〔田中亮一〕 | 312 |
| 4-16 | 光合成の温度馴化 | 〔矢守 航〕 | 314 |
| 4-17 | 時計の温度補償性 | 〔前田明里・中道範人〕 | 316 |
| 4-18 | 高温ストレスとエピジェネティクス | 〔上田 実 [◆] ・関 原明〕 | 318 |
| 4-19 | 温度適応における RNA 制御 | 〔中南健太郎・関 原明〕 | 320 |
| 4-20 | 温度と植物の器官再生 | 〔大谷美沙都〕 | 322 |
| 4-21 | 地球温暖化が農作物に及ぼす影響および適応策 | 〔増富祐司〕 | 324 |
| 4-22 | イネの登熟期における高温障害 | 〔圓山恭之進〕 | 326 |
| 4-23 | ムギ類の温度反応 | 〔佐藤和広〕 | 328 |
| 4-24 | カーボンニュートラルに貢献する熱帯作物キャッサバ | 〔内海好規・関 原明〕 | 330 |
| 4-25 | 熱帯起源のヤムイモたち | 〔菊野日出彦〕 | 332 |
| 4-26 | 過酷環境に耐える高栄養価作物キヌア | 〔小賀田拓也・藤田泰成〕 | 334 |
| 4-27 | 熱帯作物コーヒーノキ | 〔菊野日出彦〕 | 336 |
| 4-28 | 乾燥と高温に強い作物トウジンビエ | 〔津釜大侑〕 | 338 |
| 4-29 | 熱帯野菜アマランサス | 〔吉岡洋輔〕 | 340 |
| 4-30 | トマトの生育適温と高温障害および高温耐性機構 | 〔戸高大輔・溝井順哉〕 | 342 |
| 4-31 | 温度を感じる植物ザゼンソウ | 〔伊藤菊一〕 | 344 |
| 4-32 | 植物工場 | 〔後藤英司〕 | 346 |
| 4-33 | 植物の培養細胞・組織の超低温保存 | 〔小林俊弘〕 | 348 |
| TOPICS 4 | 「レインツリー」は温度を感知して葉を閉じる | 〔村岡勇樹・上田 実 [◆] 〕 | 350 |

| | |
|-------|-----|
| 事項索引 | 351 |
| 生物名索引 | 357 |