



温度概念と温度計の歴史

高田誠二

(受取日：2005年6月29日，受理日：2005年8月1日)

Historical Development of the Temperature Concept and the Thermometers

Seiji Takata

(Received June 29, 2005; Accepted August 1, 2005)

In this article is dealt with the history of the concept and the measuring method of temperature. Firstly, the relation of thermal sensation of human body to the temperature concept is discussed. Secondly, the rise and development of liquid-in-glass thermometers are described. Thirdly, the formation of thermodynamic concept of temperature is traced. Finally, the modern trends of conceptualization of temperature both in operationism and reductionism are pointed out.

1. まえおき

現代の緊急課題の一つである「地球温暖化の抑止」は、まず地表環境の《温度計測》から始められなければならない。そもそもヒトは、受胎のとき既に温度環境の支配を受け、一生にわたり、限られた温度範囲の中で生存し生活し生産し生殖している。温度計測は、人類に不可欠な営為の一つに挙げられるべきものである。

今日、我々の身边 - 例えば冷蔵庫の中 - では、予想以上に数の多い温度センサーが働いている。しかし50年前、100年前、200年前、その数はごく少なかった。その間の温度計測の実技・概念の推移を、科学技術史の眼で考察してみることにしたい。

たまたま60年ほど前の書物『温度の科学』¹⁾の中に愉快な記事を見つけたので、抄録しておく。

ある学校の入学試験で「現在、室内の大体の温度は何度か。摂氏と華氏とで答へよ」を出題し、約1000名の答案から統計を採ったところ、

9 以下 117人

10	142人
《中略》	
15	179人
16	30人
《中略》	
20	86人
21 ~ 50	161人
51 以上	48人

となった。実測値は約17であり、10 ~ 20 を正解とした結果、正解者は545名、5割少々でしかなかった（華氏のほうは3割ほど）。受験者は（当時の）中学卒程度で、物理は学んだ筈。

さて、21世紀の話に戻るが、理科離れ時代の入試についての議論が賑やかな今日、上記のような出題はどう批評されるだろうか。塾に通った生徒は有利か、試験場が暖地と寒地に分かれていたら正解は会場ごとに監督者が実測して決めるのか等々、議論は尽きるまい。

私は、こんな事を考える - 正解率は、冷暖房や気象情報の普及と密接に関係する筈だ。それらは、60余年前の戦時

色濃厚な時代には全く欠乏していたから、生徒は温度の数値などを見聞する機会は稀にしか持てなかった。この出題に戸惑う生徒は多かった筈だ。

では、現代はどうか。生徒たちは、日夜、空調された部屋でテレビ経由の気象情報を獲得できるから、温度の計測や制御の話題に接する機会は豊富だ。だがそれは、耳や眼を経由する知識をもたらすとしても、体感に直結する判断を与えるとは限らない。例の設定問に接した時、今朝のテレビで見た「きょうの最高温度の予想」を答案に書くと、誤答になりやすい。建物内の温度上昇は「遅れ」るし、空調があればそれが室温を支配する。現代の回答の傾向は、「ばらつき」は小だが「偏り」が大となるうか。

という次第で、温度計を用いない(手ぶらの)温度計測の「不確かさ」は、時代により傾向を異にするとはいえ、常にかなり大だと考えなければならないようである。

2. 熱現象と人体感覚

そもそもヒトは、体の感覚だけでどの程度まで温度を識別できるのか？ 実験的な知見は文献²⁾に総括されている。皮膚の冷点・熱点の数と分布は浮動しつつも一定の傾向を示す。皮膚組織は、熱の放射・伝導・対流や湿度、血管の膨張収縮などの影響を受けるにせよ、安定状態では、部位ごとにはほぼ一定の温度を示す(舌下で37℃、耳たぶで20℃等)ただし「順応」という現象が難問で、その研究の指標として「生理学的ゼロ(暖かさ・冷たさのどちらへの応答も誘起しないような、充分に順応した、熱的無関心領域と呼ぶべき狭い温度範囲[幅])」が定義されているもの、その幅は、狭いときは0.01℃、広いときは8℃と不確かである。平均として33℃が報告されているけれども、その値は、履歴に依存する。周知のように、右手を温水(例:40℃)に、左手を冷水(例:20℃)に浸した後、両手をぬる湯(例:33℃)に移せば、右手は冷たく感じ左手は温かく感じる(この事実の確認記載の功は、英国の哲学者ロック³⁾に帰せられるという)この事実は「順応の結果、生理学的ゼロがずれた」のだと説明される。

以上に抄録したような感覚論的な記述や説明は、近代の科学計測では排除されるわけだが、ここで敢えて2点だけ注意を喚起しておく。現今の国際単位系(SI)の基本量「光度」の単位「カンデラ」については、比視感度という感覚論的な係数および明所視・暗所視・薄明視という知覚条件の詳細が必要とされること、筆者を含め、気温の急激な降下や風の不規則な脈動に敏感なヒトはかなり多く、ある種の環境因子の導入が望まれるかに思われること。

ともあれ、温度計が出現するまでの長い年月ヒトは、病人の顔に「手をふれ」たり、焚き火に「手をかざし」たり、炉の中を「眼で眺め」たりして(Fig.1)、「温度にかかわる



Fig.1 Observation of thermal radiation from the hot furnace.

物理的状态」を判断してきた。だが、ひとたび温度計への信頼が確認されれば、ヒトは、温度計が示すものを「眼で読む」ことに最高の期待を寄せることになる。

3. 気体・液体の熱的性質

皮膚が感じる温度(のようなもの)の代わりに、もっと信頼できそうな、しかも眼に見える何物かが捜し求められた。結果として選び出されたのは「物体、とりわけ気体の膨張」という現象だった。この着想の原型として史上に伝えられているのは、西暦1世紀に活躍したギリシャ・アレクサンドリアのヘロンの「からくり」である。^{4,5)} 祭壇の火で熱せられた空気が膨張して床下の仕掛けを動かし、神殿の扉を開く。

この仕掛けは、礼拝者に畏敬の念を起こさせるためのシステムであって、科学・技術上の意味は薄いが、これを温度計の原型と見れば、思い当たることは多い。まず、「火の傍の箱」は「熱源に接する感温部」、また「人目を驚かす扉」は「読み取りやすい温度値表示部」と解することができる。そして途中は、けっこう複雑な機構の連鎖だが、温度計測者は、その詳細を知らずに済ますことが可能、つまりブラックボックス扱いしてよいのである。

さて、膨張体としては気体のほか液体、固体もあるのに、なぜ、真っ先に気体が注目されたのか？ 答えは簡単で、温度膨張率は、大づかみには気体で最大、固体で最小だからである(定数表ですぐ判るけれども、演示実験を考えてみるのも有益であろう)

以上のような事情で、史上最初の温度計として「空気(膨張)温度計」(Fig.2)が誕生した(1590年代)。その考案者はガリレイであった⁴⁾ - それは、彼の思想、経歴と時代の動きとがマッチしたことを端的に証明している。この

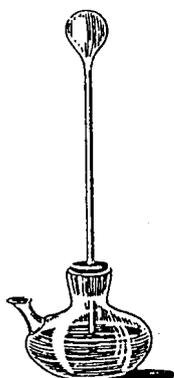


Fig.2 Galilei's thermoscope. A forerunner of the thermometers.

道具は、彼の友人の手でさっそく体温判定に利用された。
 しかし、遠からず限界が見えてくる。この道具の指示は「気圧」にも左右されるからだ。歴史は、ここでパスカルらによる「気圧(計)」の着想の話と重なり合う⁵⁾のだが、回り道は避けよう。

新たに求められることになったのは、温度膨張率は程々に大、他方、圧縮率はなるべく小という物体であり、今度の答えは「液体」に落ち着いた。

この選択に加えて、「液体を容器に密封して大気圧変動の影響を軽減する」こと、「容器は、温度・圧力の影響を受けにくい材料で作る」ことが実行され、今日言う「液体封入ガラス製温度計」が形づくられてゆく。

この推移は、「温度の関数であるさまざまな物理量」の中から、「事実上、温度の一価関数とみなせる物理量」としての「密封容器内の液体の体積」が抽出されたのだ⁵⁾と解することができる。ガリレイの作品からほぼ1世紀を経た頃のことであった。

その歴史を現代に伝える資料として、温度計を描いた図のうち現存最古のもの(1611)⁶⁾を示す(Fig.3)

なお「温度計」の意の欧州語⁷⁾の初出は、フランス語 Thermomètre と言われる。⁸⁾

続いて、温度計の分解能・応答速度・扱い易さの改良が進められる。一例として、ガリレイの弟子たちが考案した機能的かつ芸術的な温度計を文献『アカデミア・デル・チメントの報告』⁹⁾から Fig.4 に転載する。温度を高分解能で測るために管を細く長くすると、壊れやすくなるが、図のように管をらせん状に巻いてやれば、取扱いも読取りも容易になるのだ。

もっと大胆に、細管を球部に巻きつけた例や、液体溜めを数珠の束の形にし(液体と外界との接触面積を大きくし)て応答速度を高めた例も見られた。いずれもが、高度なガ

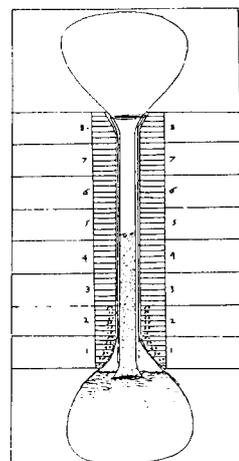


Fig.3 The oldest of the existing drawings of thermometers.

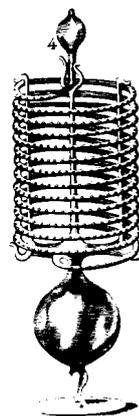


Fig.4 One of the artistic thermometers set up by the Accademia del Cimento.

ラス細工技能あつての作品であった。

4. 多様化と標準化

18世紀に、液体封入ガラス製温度計は、いくつもの分岐点を通してながら多様化し、反面、徐々に標準化されてゆく。選択項目の主なものは、

- (1) 液体の種類
- (2) 温度の基準

の二つであった。項目(1)では、事実上アルコールか水銀¹⁰⁾の択一だけが問題であって、アルコールは膨張率が大きく低温でも凍らず扱いやすく廉価である等のメリットをもつ故に実用上ひろく用いられ、他方、水銀は、高温に耐え熱伝導がよく(温度変化に即応して伸縮し)膨張率が多項式

で厳密に表現できる等のメリットの故に精密用・標準用として尊重され、二極化の様相を見せた。

話はやや飛躍するが、平賀源内が1765年に作った「日本創製寒熱昇降器」の液はアルコールだったか水銀だったか実物は失われたが、彼が見たらしいオランダ書およびその原典であるフランス書を筆者が点検した限りで言えば、アルコールだったと判断される。¹¹⁾

他方、項目(2)では、国・地域そして学者ごとに各種各様の案が提示され、收拾し難いほどの多様さ¹⁰⁾が見られた。マーチン著書(1751)¹²⁾所載と伝えられる温度基準一覧図には、

地名：フローレンス、パリ、エデンバラ
 人名：ファーレンハイト、ド・ラ・イール、アモントン、レオーミュール、ド・リール、ニュートン、ファウラー、ヘイルズ

機関：王立学会

等の温度目盛が示されており、信じがたい錯雑さを後世に伝えている。人名のうち、ニュートンは凝固・沸騰の温度を基準に選んで基準を決めたことで重視される。反面、セルシウスが欠落しているのは面白い(彼の目盛の発表は1742年つまりマーチン著書初版刊行¹²⁾の2年後であった)。

さて、18世紀にこれほどまでの多様性を示した温度目盛も、19世紀には收拾の方向に進み、事実上3者-既出のファーレンハイト、セルシウスのほかレオーミュールのRé-が主流を成すに至った。3者については人物伝も出ている。¹³⁾以下、名(漢字表記)、出身、生没年、専攻、関連事項([a] 感温液、[b] 温度基準点、[c] 発表年)を示す。

- 1) D. G. ファーレンハイト(華倫海、華倫海特、髪倫海、華連歌乙士)、ダンツイヒ(現グダニスク)、1686 - 1736、科学機器製作。

[a] アルコールおよび水銀
 [b] 3個(水・氷・塩化アンモニウムの寒剤による最低温度* 0、氷点32、ヒトの血液温度96)
 [c] 1724年

* これをファーレンハイトは「この世の最低温度」と信じていた。

- 2) R. A. F. レオーミュール(列欧繆兒、列亜烏繆爾)、ラ・ロシエル、1683 - 1757、博物学・金属学ほか。

[a] 主にアルコール
 [b] 1個** (氷点1000)
 [c] 1730年

** 氷点で1000単位の体積をもつアルコ-ルの体積が1単位だけ増加した時の温度にそれぞれ+1, 2, ... の値を与える。その結果、沸騰水に浸した閉管の中のアルコールが沸騰し始める温度は+80となった(後に「水の沸点の実測値が80となった」または「彼が水の沸点

の値を80と定めた」との誤伝が生まれた)¹⁴⁾

- 3) A. セルシウス(摂爾修、摂尔西烏斯、摂兒朱斯、施兒失施)、ウブサラ、1701 - 1744、天文・測地等。

[a] 主に水銀
 [b] 2個*** (氷点100、水の沸点0)
 [c] 1742年

*** その後1752年までにリンネその他の人の発想で氷点0、水の沸点が100と逆転された。¹⁰⁾

前述の平賀源内は、自作の温度計の目盛板に「極寒、寒、冷、平、暖、暑、極暑」の文字列および「0, 4, 8, ..., 92, 96」の数字列を書き入れた。数字は明らかに華氏の℞である。

幕府の軍艦(オランダ製、函館戦争で沈没)が1990年に引き上げられた時、回収された温度計に℞とRéを併用した表示が見られた。と℞の併用は、ある期間、日本他いくつかの国で行なわれたが、℞とRéの併用は珍しい。オランダが一時期フランスと深い関係にあったことの反映であろう。

5. 熱力学による温度の概念と標準

℞, Ré, の歴史を読むと、「互いに比較可能な温度基準の成立」といった表現が度々出てくる。つまり彼ら以前の温度計は、事実上、相互比較に堪えなかったのだ。そうした事情は、マクスウェル(電磁気学の祖として著名な学者)の著書『Theory of Heat』¹⁵⁾で興味深く語られている：

氷が地上どこでも同じ温度で融けることを確かめるには、同一の温度計をあちこちへ持ち歩かねばならない。それが壊れた場合、更新しても、同じ温度が示される保障はない。かつて、ガリレイの弟子リニエーリ(1647没)はフローレンスで16年間も温度を記録し続けたのだが、学会アカデミア・デル・チメントが解体された時に温度計も破壊されたとの説が流れ、温度の記録の学問的価値は失われたと信じられていた。が、1829年、問題の温度計をアンティノーリが見つけた。それをリブリがRé温度計と比較して、リニエーリ時代の気候に関する意義深い知見を得た。

さて、マクスウェルは、熱学にも精通し、上掲の著書で温度計の製作や校正(キャリブレーション)の実技も詳述しているが、より基本的な事項つまり気体の法則による温度基準および温度のゼロ点の問題にも、懇切な説明を加えている。それらも大いに教訓的なものであるが、今はジャンプして、基本的問題の核心すなわちカルノーの原理と熱力学の2法則とに基づく温度基準の考え方をマクスウェル熱学書から抄録しよう。

カルノーの原理(1824)の最も重要な意義は「熱機関のうち可逆なサイクルは最高の効率をもち、その効率 $\eta = W/H = (H - h)/H$ は物質の個別の性質に依存せず高低熱源 a ,

bの温度 S 、 T だけで決まる」ことの定式化であった。 H ：作業物質がaから得る熱量、 W ：力学的仕事の量、 h ：作業物質が熱源bに与える熱量。

S 、 T の値は任意に選べるが、ここで

$$(S - T)/S = (H - h)/H$$

となるよう、言い換えれば

$$S/T = H/h \text{ すなわち } H/S = h/T$$

となるよう、 S 、 T を定め、それをマクスウェルらは絶対温度^{4,5)}と呼んだが、今は「熱力学温度」^{7,16)}と呼ぶ。

この種の説明の奥行きは、たいへん深い。仕事と熱との相互転換は熱力学第一法則の内容（エネルギー保存）に通じ、 h/T といった表現は第二法則の内容（エントロピー非減少）に通じ、 $T = 0$ は絶対零度（ゼロ・ケルビン）を意味し、それより低い温度はありえない。熱源bの温度がゼロの時のみ熱はすべて仕事に変わり得る、等々。

このように含蓄の深い認識が、マイヤー、ジュール、ヘルムホルツ、ケルビン卿（W. トムソン）、クラウジウスらの学説と共に形成されたのである。

こうして、物質の個別の性質に依らない温度の定義が確立された。ファイレンハイト時代からの、水銀かアルコールか、ガラスの質は？といった細かい物性上の議論から開放された「熱力学温度」の概念が、ここで公認されたのである。

この概念構成（1848）の立役者はケルビン卿であり、その名は今日の「熱力学温度の単位、ケルビン」に留められている。ただし、「標準」の面で言えば、当時の彼はセルシウスの伝統を尊重し（過ぎ？）た。ケルビンは、「氷点と水の沸点との間隔に100という値を与えて」熱力学温度を標準化した。つまり前述の「温度定点2個」の方式を尊重し続けたのである。

そのため、氷点の熱力学温度 T_0 は実験で求めざるを得なくなり、その値273.15の次の桁の決定に多くの実験家が苦心した。さまざまな実在気体の膨張係数の実測値に補正を加えて、理想気体の（氷点 - 水の沸点の間の）膨張係数を求め、逆数を取れば T_0 が得られる。

日本の木下正雄、大石二郎が得た結果を含む108個の T_0 データが、ピーターの総合論文¹⁷⁾に掲載され、のち芝亀吉の講座記事『最小二乗法』¹⁸⁾で活用されて、単純な（加重でない）平均として

$$T_0 = 273.152$$

を得た。この定数値に関する国際的な議論は戦後に持ち越された。¹⁹⁾

せっかくケルビンが熱力学温度を考え出してくれたのに、

定数 T_0 が確定されなければ、セルシウス目盛の原点（氷点）と熱力学温度の原点（絶対零度）との関係が確定されない（両目盛の値の換算ができない）のだから、甚だ不都合である。そこを突破するための検討が永く続けられたわけだが、ケルビン提案からちょうど100年目の1948年、二つの新着想が公認され、大きな前進が約束された。

- I. 2定點方式を排除し、1定點方式に移行する、
- II. 氷点を排除し、水の三重点を採用する。

Iは、前述4.のセルシウス方式からレオーミュール方式に移ることと対応する。

IIは、水の2相（固・液）平衡を排除し、3相（固・液・気）平衡に依拠することを意味する。

IとIIに共通する教科書的事項を手短かに挿入しておく - 2相平衡の温度は圧力の影響を受ける（特に液・気の平衡では著しい）から、温度基準点としての適格性が低い。3相平衡は、圧力の影響を受けず、唯一の温度として定まるから、温度基準点としての適格性が高い。

この機会に個人的経験を紹介すれば、液・気の平衡を基準点として使いこなすことの困難さは、いま思い出してもぞっとするようなものであった。一方で水銀柱の動きを眺みながら時々刻々の圧力を記録し、他方で温度計の指示を観測する。当然「遅れ」があるのだが、手回し計算機で101325 Pa相当の平衡を推算する以外にすべがなく、心細い限りであった。²⁰⁾

ついでに触れておくが、温度計の遅れの熱伝導論的な数理を扱った最初の論説はフーリエの名著『熱の解析的理論』（1822）に見られる。⁴⁾

1948年の話に戻る。メートル条約の最高機関である国際度量衡総会の戦後初めての会合（国際単位系（SI）の骨格が提案された会）で、次のことが確認された：

ただひとつの基本定點（実際には純水の三重点）しか含まない絶対的な熱力学温度目盛の原則、セルシウス目盛のゼロ点は純水の三重点より0.01度だけ低いこと、[Cの由来は] 百分度（degré centigrade, degré centésimal）ではなく、セルシウス度（degré Celsius）と解すること。

国際的な検討は更に慎重に続けられ、同総会の1967/68会合で、次の（今日では周知となった）「熱力学温度のSI単位の定義」が決議された：

熱力学温度の単位、ケルビンは、水の三重点の熱力学温度の $1/273.16$ である。

決議の背景を少々 - 水の三重点を基準とすることの提案と検証はドイツ国立物理工学研究所のモーザーら（1929）（水の三重点 - 氷点）の値はピーターらが熱電対50組を直列にして実測（1938）し0.0098度を得たが、丸めた値0.01度が公認された。日本最初の「水の三重点セル」は中谷、

内山らの手で実現された。²¹⁾

では三重点なら万事OKかと言うと、実はしからず。物質「水」の同位体組成も重要で、ごく最近「Vienna Standard Mean Ocean Water」の同位体組成に等しい同位体組成をもつ水」との規定が勧告される運びになったという。²²⁾

他に例えば低温測定標準では、水素三重点近傍の比熱異常も注目された。²³⁾

6. 新しい測温原理

以上の略史が語るとおり、温度の「概念」は熱力学的に理論武装され、「数値」は計測学的に精密化されてきた。しかしそれで、すべての温度計測たとえば本稿冒頭で触れた冷蔵庫内の各点の温度の計測が日常的に遂行できるだろうか。答えはもちろんnoであって、その遂行可能性を確保するためには、各種の実用性ある温度計と付属機器そしてそれらの標準化の手段を整備しなければならない。手引きは、総合文献¹⁶⁾ JIS規格や現場の専門家の経験談²⁴⁾から得られるが、歴史的な事項については、新刊の歴史百科²⁵⁾が有用である(術語の訳は要注意)

分野別に功労者を挙げれば、熱電気現象による温度計の原理ではベルチエ、ゼーベック、ケルビン、開発ではベクレル、ル・シャトリエ。電気抵抗温度計ではドイツのジーマンスとイギリスのカレンダ、グリフィス。

熱放射の理論はマクロには古典熱力学で扱えたが、ミクロな分光分布論は量子論の端緒を開いた。放射温度計は1870年代から開発され、標準計器としては、20世紀前半は可視波長域の光高温計、後半は近赤外域の放射温度計が、尊重された。

1960年代、レーザー・レーザが実現されて「負」の(熱力学)温度が日常の話題となり、説明に窮することもあったのだが、まさにその頃から、温度計測の世界でも量子統計力学的な考察が必須となり、超高温プラズマの分光診断や熱雑音温度計のように、プランク定数 h 、ボルツマン定数 k にかかわる技法が普及した。¹⁶⁾ 温度 T は、微視状態の数 W の自然対数とボルツマン定数 k によるエントロピー $S = k \ln W$ とエネルギー U から、

$$1/T = S / U$$

で定義されるものと、概念構成の論旨を逆転するほうがよい時期になったとも言える。たまたま今年(2005)、熱力学温度の単位ケルビンをボルツマン定数 k で定義することの、国際的な検討集会在開催された。

7. 結びに

温度とは何か? 古典熱力学および統計力学の立場からの

説明は、曲がりなりにもこの拙稿の中へ書き込んだ積りである。

とはいえ、可逆サイクルの効率にせよ、微視状態の数の自然対数にせよ、日常経験からなんと遠く隔たった「概念構成」であることか。

この記事の残りの紙面では、この「隔たり」感を解消するべく、最後のあがきを試みたい。

まず、「温度とは、温度計によって測られる量」とするのはどうか? ニワトリとタマゴの話に他ならないが、科学論で操作主義的と呼ばれる立場の一例として、検討に値する。

実は、本文では殆ど言及しなかったけれども、温度計測標準化の重要な話題として「国際温度目盛」¹⁶⁾という協約があり、1927年このかた詳しく検討され度々改定もされてきているのである。その意図は「規定された温度計たとえばしかじかの条件を満たす白金抵抗温度計を、規定された複数個の温度定点で校正しておけば、爾後、その電気抵抗値から《国際温度目盛による温度》を求めることができる」とするものである。この協定の背後には、「実行の容易でない熱力学温度測定の結果と十分に整合させることのできる」厳格さが、国際間の研究討論によって保障されている。しかも、近年の公私の努力の結果、計測のトレーサビリティ(traceability)[不確かさがすべて表記された、切れ目のない比較の連鎖を通じて、通常は国家標準または国際標準である決められた標準に関連づけられる測定結果または標準の値の性質]が、逐次に整備され、研究開発や生産の現場での計測が、国家標準ひいては国際標準と適正に関連付けられるようになってきた。そのような場合、「温度計によって測られる量」が(その測定のトレーサビリティに見合った不確かさでの)「温度」だと判断してよい。

こうした操作主義的説明は、初等教育や実技教育の、いくつかの場面で有効だろうが、決定的な難点は「温度計は何を測るの」という問いに答えられないことである。

では再び古典に戻って、他の説明方法を一瞥しよう。幕末日本に蘭学経由で伝えられた「窮理」の書によると、温度計の機能は「温の多少を察する」、「熱素の多寡を示す」、「温質の増減を験す」などと説明されており、古い熱素説(熱は物質の一種とする説)の影響が歴然と認められるから、今日ではもはや通用しない。

既に引用したマクスウェル『熱学』¹⁵⁾は、冷温感覚から説き起こし、熱素にも言及するが、すぐにそれを批判して「熱は生成されもし、消費されもするのだから、不滅と考えられる物質とは明らかに異なり、熱の量は、熱の作用に密着した方法で測るべきものだ」とする。そして「ある物体の温度とは、他の物体へ熱を伝える能力に着目して評価される、その物体の状態」と説明し、後章で熱力学的な定義を示す。¹⁵⁾

マクスウェルに次ぐ世代の大物理学者プランクは、名著『熱力学』²⁶⁾の初章で、冷温感覚を顧慮しつつも「科学的に用い得る定量的の尺度」は「直接の感覚からは導かれない」として、極めて慎重に「物体の体積」その他の適格性を吟味し始め、3ページほど進んだ箇所で「温度の定義の任意性は依然として除かれない」と言い、「個々の物質の性質に無関係な、温度の定義は 熱理論の第二主則（熱力学の第2法則）を基礎として初めて可能となる」と、114ページも先の節を予告し、「それまでは、気体寒暖計によって、十分な精密さを以て、定義せられる様な程度の温度のみを問題とする」と、宣告する。

このプランク熱力学を邦訳された芝教授は後に『熱力学』²⁷⁾を刊行された。全書サイズのp.3とp.49で、ほぼ同じ論旨の講述が、遥かに明晰に展開されている。

以上、熱学の3名著に共通する概念構成原理は、科学論で言うところの「還元主義」詳しくは「古典（熱）力学への還元主義」と位置づけてよいであろう。

文 献

- 1) 福本喜繁, 温度の科学, 山海堂 (1942).
- 2) H. R. Schiffman, Sensation and Perception, John Wiley and Sons, 107 (1976).
- 3) J. Locke, An Essay Concerning Human Understanding, (1690).
- 4) E. マッハ著, 高田誠二訳, 熱学の諸原理, 東海大学出版会 (1978).
- 5) 小野 周他編, 熱学第二法則の展開, 朝倉書店 (1990).
- 6) Telioux 作図, Bibliothèque de l'Arsenal, Paris 所蔵 (1611).
- 7) 高田誠二, 熱をはかる, 日本規格協会 はかるシリーズ (1988).
- 8) J. Leurechon, Récréation Mathématique, (1626).
- 9) Saggi di Naturali Esperienze (1667); 復刻 Domus Galilæna (1957).
- 10) W. E. Middleton, A History of the Thermometer and its Use in Meteorology, The Johns Hopkins Press (1966).
- 11) 高田誠二, 日本科学史学会第51回年会, 研究発表講演要旨集 p.43 (2004).
- 12) G. Martine, Essay Medical and Philosophical, London (1740).のフランス語訳 (1751, パリ)と解されるが、筆者はこの図の複写のほかは未見.
- 13) H. Kant, Fahrenheit, Réaumur, Celsius, B. G. Teubner (1984).
- 14) A. Birembaut, Rev. d'Histoire des Sciences, XI, 302 (1958).
- 15) J. C. Maxwell, Theory of Heat, 初版は (1870). ここでは新版 (1902) p.34 および p.159.
- 16) 計測自動制御学会温度計測部会編, 新編 温度計測, 計測自動制御学会発行 (1992).
- 17) J. A. Beattie, Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, Reinhold Pub. Co. 74 (1943). このモノグラフは, 戦後に, 温度計測制御の国際シンポジウムと連動して, およそ10年ごとに継続刊行されて今日に及んでいる.
- 18) 芝 亀吉, 応用数学講座9 最小二乗法, 河出書房, 9 (1944).
- 19) 大石二郎, 私のT₀研究24年の記録 (1984). 非売品 .
- 20) 米田麟吉, 中谷昇弘, 望月 武, 高田誠二, 渡部 勉, 宮里 稔, 中央計量検定所報告 5-1, 6 (1956).
- 21) 米田麟吉, 中谷昇弘, 内山英樹, 宮里 稔, 中央計量検定所報告 6-4, 33 (1957).
- 22) 産業技術総合研究所低温標準研究室経由の情報.
- 23) 桜井弘久, 計測自動制御学会論文集 34, 1153 (1998).
- 24) 小川実吉, 計測技術, 28-30 巻 (15回連載) (2000年11月~2002年10月).
- 25) 橋本毅彦, 梶 雅範, 廣野喜幸監訳, 科学大博物館, 朝倉書店 (2005); 《温度計》 p.72; 《パイロメーター》 p.573. ただし, 訳語は必ずしも現代慣用のものと整合していない. 書評「科学史研究」, 44, 120 (2005)を参照されたい.
- 26) プランク著, 芝亀吉訳, 熱力学, 岩波書店 (1938).
- 27) 芝 亀吉, 熱力学 (岩波全書), 岩波書店 (1950).

要 旨

温度とは何か、温度計はどんな機能を持つべきか - 古来の考察・試行の跡をたどり、人体の冷温感覚との不即不離の関係、液体封入ガラス製温度計を初めとする各種温度計の開発と改良、そして巨視的熱学の基本法則による（個別の物性によらない）熱力学温度の定義及びその微視的な解釈を通観し、併せて、操作主義の考え方（規定された測定器の指示によって温度を定義する立場）に触れる。

高田誠二 Seiji Takata
久米美術館参事研究員, 北海道大学名誉教授, TEL.&FAX. 03-5378-5303
研究テーマ: 近代科学技術史
趣味: 洋楽の鑑賞と合奏