

## 暖房技術の歴史と温熱環境評価指標の変遷

－ 戸建住宅における住空間の快適性確保に関する研究 －

(株)ボラス暮らし科学研究所 ○松本泰輔

日大生産工 松井勇

(株)ボラス暮らし科学研究所 野田将樹

### 1 はじめに

暖房の目的は人の住まいという1つの生活の場を、寒冷期において、快適な住まい活動のできる状態に置こうとするものである。現在、1世帯あたりの年間消費エネルギーの内訳では、約1/4が暖房用途となっている。これにもかかわらず、住宅に係る暖房についての出版物は甚だ少なく、たまに目にふれるものも、住宅構造を主としたものか、暖房技術としての装置の解説に重点が置かれたままで、暖房技術の推移やそれを評価する指標の変遷をまとめたものは少ない。本報告では、筆者の知る範囲において整理した、暖房技術の歴史と温熱環境評価指標の変遷を報告する。

### 2 本報告の範囲

本報告の範囲を以下に示す。

- 1)技術提案は様々な分野で行われているが、本報告では住宅分野に限定した。
- 2)暖房形式については、国によって様相を大きく異にするが、本報告では、特に日本の暖房技術について調査した。
- 3)温熱環境評価指標の提案は長年にわたって行われているが、ここでは研究黎明期直後の1900年～1950年の提案に注目した。

### 3 暖房技術の歴史

#### 3-1.暖房技術の歴史概要

日本における暖房の歴史は、縄文時代に火を使い始めてからとされることが多い。生活するうえで人が採暖に、また、炊飯に火を使い始めたことが住宅における暖房のはじまりとするならば、住宅と暖房との関係は、随分長い歴史があるように思われる。しかし、日本の住宅の歴史のなかで、暖房技術というの

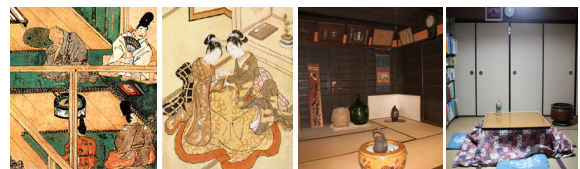


図1 歴史絵画と筆者の実家

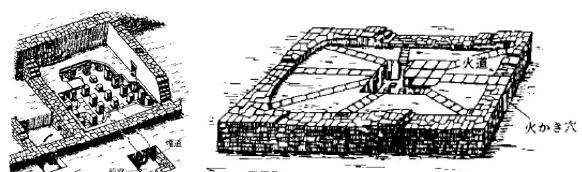


図2 ハイポコースト暖房略式図

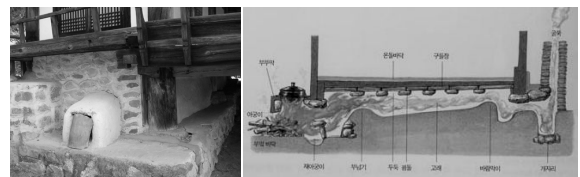


図3 温突暖房略式図

は図1に示すように、囲炉裏、火櫃、火鉢、炬燵と、古代～近年で、ほとんど特筆すべき改良・発展がないように見受けられる。海外での住宅暖房の歴史の最初は、図2に示す紀元前95年の、欧米の暖炉の原型とされる床暖房形式のハイポコーストとされている。ハイポコーストと同様の暖房形式については、図3に示すように韓国や中国でも温突や炕として残っている<sup>1)</sup>。現在の暖房技術の最初は、産業革命以後のイギリスにおいて、1700年代中頃の紡績工場で初めて採用された蒸気暖房とされている<sup>2)</sup>。しかし、本格的な発展は1800年代後半で、アメリカにおいて鑄鉄製ボイラーが製造されてからである。日本では、1870年頃から欧米の文物の急速な取入れが行われ、それにより暖房技術も1945年の終戦までに幾多の建物において採用されている。しかし、

History of Heating Technology and Transition of Thermal Environment Evaluation-Index

－ Research on Realization of Comfortable Habitation Space －

Taisuke Matsumoto, Masaki NODA and Isamu MATSUI

これらにはあくまで住宅はほとんど含まれず、暖房技術を含む空調設備の本格的な採用は大規模建築物でも劇場などのごく 1 部の建築物のみで、住宅に暖房技術が普及されていくのは 1955 年中頃以降とされている<sup>3)</sup>。

### 3-2. 日本における住宅暖房技術の移り変わり

日本の住宅では、古くから図 4 に示す囲炉裏、火櫃、火鉢、行火や炬燵、懐炉や湯たんぽなどによって、わずかに手足を暖めて冬を凌ぐことを慣習としている。このような採暖形式は、部屋全体を暖めるものではなく、身体だけを暖めるという意味で「暖房」ではなく「暖身」とよばれている<sup>4)</sup>。日本の住宅の暖房技術の移り変わりは、「暖身」～「暖房」の順で解説されることが多い。1870 年以降には、図 5 に示すような石炭ストーブや薪ストーブが、1910 年～1925 年には、石油やガスを燃料とするストーブが国内で生産されるようになったが、依然として火鉢や炬燵などを使用する世帯が多かったようである。有名な暮らしの雑誌に石油ストーブのテストの記事が初めて載ったのは 1960 年とされている<sup>5)</sup>。日本の住宅暖房の主体が「火鉢や炬燵」～「ストーブ」に移ったことは、住宅暖房の歴史のなかで非常に大きな事件であり、「暖身」～「暖房」と、ここに住宅暖房の歴史が始まるといわれるほどの画期的な出来事であったようである。同じ 1960 年には、図 6 に示すようなヒートポンプ方式の暖冷房兼用エアコンの販売が開始されている。エアコンの歴史は 1952 年に始まる。当時のエアコンは、冷房機能しかなく商品名も「クーラー」とされていたが、価格帯が極めて高く、現在のように一般世帯で広く使用されるまでには 20 年～30 年の時間を要している。1970 年代後半には、新エネルギー産業技術総合開発機構による高効率エアコンの開発が公募され、これによりエアコンの性能は飛躍的に高まったとされている。1980 年代初めには、産業用モーターの回転数制御に使われていたインバータが住宅用エアコンにも応用され、暖房能力が大幅に向上し、販売価格の低廉化、機器自体の省エネルギー化にも成功している。現在、世帯普及率が 89%にまで上昇し、また、1 世帯あたりの平均所有台数が 2.6 台と、より身近になった住宅用エアコンの主流となる技術は、この頃に確立されたとされている<sup>6)</sup>。1960 年代には、電気式床暖房の販売も開始されている。床暖房について

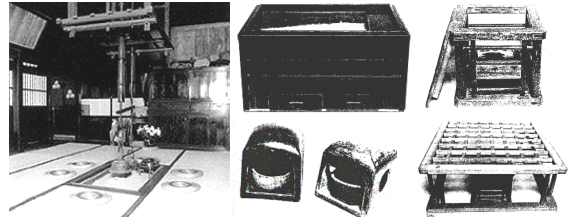


図 4 囲炉裏・火櫃・行火・炬燵



図 5 石炭ストーブと薪ストーブ



図 6 販売開始当初の住宅用エアコン

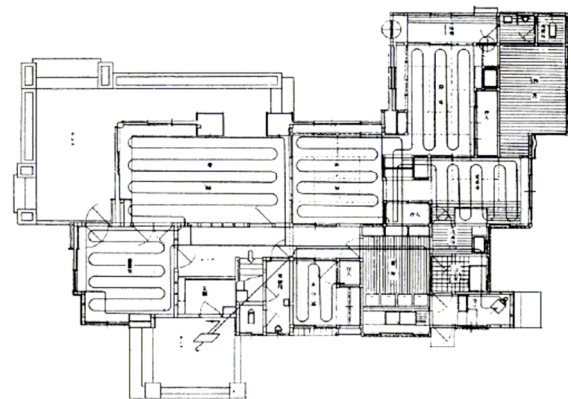


図 7 柳町政之助邸図面



図 8 現代のエアコンと床暖房の展

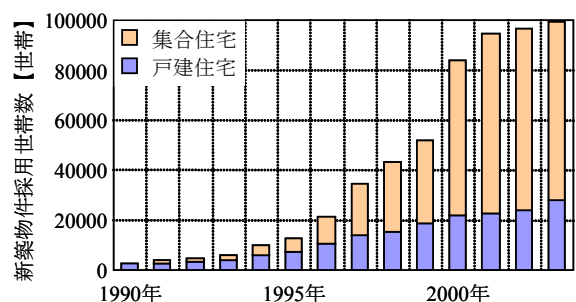


図 9 都内近郊の温水式床暖房の採用実績

は、図 7 に示すように 1931 年に柳町政之助邸



部をもち、球内部は中空で、そのガラス周囲表面に薄いアルコールの層を形成した温度計である。球部はニクロム線とバイメタルにより内部温度が 36.5℃となるよう温度調節がなされ、周辺部の示度  $r$ 【℃】として表示される冷却温度が指標となる。江田と勝木は、この冷却温度  $r$  と有効温度の関係式も求めている。

#### (6)等価温

1933 年、Bedoford は湿度の影響を加味するために等価温 Equivalent Warmth を開発している。この指標は、まず、人間の快適感覚を温熱 4 要素から直接求めるために実験データの分析を行っている。そして、最終的には、快適感覚を数量的に表現する次式を提案している。

$$S = 11.16 - 0.0556 \times Ta - 0.0538 \times Tw - 0.0372 \times f + 0.00144 \times \text{SQRT}(v) \times (100 - Ta)$$

ここで、 $S$  は

1.Much too warm 2.Too warm 3.Comfortable warm 4.Comfortable 5.Comfortable cool 6.Too cool 7.Much too cool

を表現している。

#### (7)人体熱収支の分割計測

1936 年、Winslow は人体の熱収支を、対流・放射・蒸発の各放熱経路に沿って、経路別に分割した計測を行い、その熱収支のバランスによって、環境条件に対する生理的および心理的反応を指標化することを試みている。これは、その後の熱収支研究と基礎となっている。人体熱収支の分割計測のなかでは、皮膚の濡れ面積率の概念が初めて示されるなど、画期的な理論が次々と公表されている。

#### (8)作用温度 OT

1937 年の Winslow ら、1940 年の Gagge は作用温度と標準作用温度を、一連の人体熱収支実験のなかから開発している。これらは、人体の放熱量を理論的に表現した最初の指標である。室温と平均放射温度を対流熱伝達率と放射熱伝達率で重み平均したものは、後まで継承されることとなり、作用温度 Operative Temperature OT は、現在でも使用に耐えうる指標であるとされている。ただし、平均放射温度が室温より低い場合、風速の増加とともに室温に近づくという背反性をもっている。

$$OT = (hc \times Ta + hr \times Tr) \div (hc + hr)$$

#### (9)P4SR

1947 年に MaArdle らは予測 4 時間発汗速度 P4SR を提案している。これは、温熱 4 要素と

人体側 2 要素を考慮したもので、人体が 4 時間で発汗する予測量を L/h で表現するものである。グローブ温度、湿球温度、風速から基本 4 時間発汗速度 B4SR を読み取り、以下の式で活動量と着衣量の影響を取り入れている。

$$P4SR = B4SR + 0.37 \times Icl + (0.012 + 0.001 \times Icl) \times (M - 63)$$

## 5 おわりに

温熱環境指標の変遷のなかで、1900 年～1950 年の研究黎明期直後の成果は非常に大きい。1950 年以降に提案される PMV, ET\*, SET\* の骨子となる理論もこの時代の成果であり、最近では、これらの指標の屋外利用への拡張が行われている。しかし、これらには接触による伝導で体内にもたらされる熱の影響が考慮されていない。1990 年以降に普及しだした床暖房の評価にとって、この点が大きな隘路となっているものと考ええる。

## 6 まとめ

本報告の結果を以下に要約する。

- 1)1990 年以降、住宅分野でも床暖房が急速に普及している。
- 2)現在の温熱環境指標には、接触による伝導で体内にもたらされる熱の影響が考慮されていない。

## 【参考文献】

- 1)田中辰明、防寒構造と暖房、理工図書、1993 年 7 月
- 2)空気調和衛生工学会および井上宇市ほか、空気調和・衛生設備技術史、社団法人空気調和衛生工学会、1991 年 4 月
- 3)川元昭吾、佐々木邦彦、秋山晋、住宅設備のちしき、社団法人日本建築士会連合会、1977 年 5 月
- 4)藤井正一、わが国の住宅と暖冷房、社団法人家庭電気文化会、1970 年 3 月
- 5)燃料協会燃焼部会家庭燃料小委員会、住宅暖房の手引、社団法人燃料協会、1969 年 12 月
- 6)井上宇市、冷凍空調史、財団法人日本冷凍空調設備工業連合会、1993 年 4 月
- 7)堀越哲美、温暖・暑熱環境と温熱感尺度・指標、第 38 回熱シンポジウム『暑熱環境と人間・社会』-温熱感研究の社会的貢献-、pp.1-8、2008 年 7 月