

マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算システムの開発

林 徹夫

1. はじめに

住宅の方位、プラン、断熱性能などを変えたら、その住環境、省エネルギー性能はどう変るか。この問題に答えようとすれば室温変動・熱負荷計算が必要となってくる。しかも、住宅は多数室で構成されるのが一般であるから、その計算は多数室問題とならざるを得ない。また、住宅はそれぞれに個別のプラン、言い換えれば単品生産であることが大きな特徴であり、北海道から沖縄までその所在する気候風土も異なっている。これら、各個の住宅ごとに異なる条件を計算にインプットするためには膨大な手間を要するし、計算法そのものを熟知していることが要求される。

一方、マイコン（マイクロコンピューター）あるいはパソコン（パーソナルコンピューター）の発達は近年、加速度的である。今や、これらの機器の存在しない職場環境などを考えることはできない。そこで、これらのマイコンを用い、手軽に住宅の室温変動・熱負荷計算を実行できないかと考えたのが本研究である。

但し、マイコンであるから計算手法も簡略でよいと考えるものではない。通常、大型計算機で実行する住宅の室温変動・熱負荷計算をマイコンで実行可能とするアルゴリズムの開発が本研究の第1の目的である。第2の目的は計算用インプットデータ作成方法の簡略化である。詳細な室温変動・熱負荷計算ほど住宅のプラン、壁体構成などの精密なデータを要求する。これらをいちいち、数値で入力するのではなく、住宅のプランを作成する、あるいは建具表を作成するのと同じ感覚で計算用インプットデータを作成できるようにした。

2. 多数室室温変動・熱負荷計算の基礎式

2.1 計算の前提条件

次の仮定を計算の前提とする。

- ・建物を室に区分し、各室は直方体とする。L字型の室は、仮想の間仕切りで直方体となるように2分する。
- ・室内では壁面を東西南北の壁・床・天井の6方位に区分する。
- ・各方位の壁面を更に構成材料、反対側壁面の違いなど

により部位に区分する。

- ・部位では1次元熱伝導を仮定し、部位内の温度分布はないものとする。
- ・各室の空気温度は一樣、室内空気に伝わる熱は瞬時に拡散するものとする。

以上の仮定を前提として、部位の表面温度と各室の空気温度（もしくは熱負荷）を求める。入力気象データとして標準気象データを想定しているため、計算は1時間間隔である。計算に際しては、室内日照面の移動を含む短波および長波の室内相互放射⁽¹⁾⁽²⁾、屋外壁面の建物、^{0.1}庇による日射遮蔽、室内および屋外部位表面の対流熱伝達率の時変性、室間の相互換気を考慮する。

2.2 屋外部位表面の熱収支

屋外部位表面（ j ）の熱収支を次式で定義する。

$$\begin{aligned} & \alpha_{os,j,n}(T_{oa,n} - T_{j,n}) \\ & + \epsilon_j \{ F_j \cdot AH_n + \epsilon_g(1 - F_j) \sigma \cdot T_{oa,n}^4 - \sigma \cdot T_{j,n}^4 \} \\ & + a_j \{ S_{j,n} \cdot DN_n \cdot \cos(\theta_{j,n}) + F_j \cdot DS_n + (1 - F_j) \rho_g \cdot GS_n \} \\ & + B_o \cdot T_{o,n} - B_j \cdot T_{j,n} + D_{j,n} = 0 \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

記号

AH	: 大気放射量	(kcal/m ² h)
a	: 日射吸収率	
B	: 逐次状態遷移式の係数	(kcal/m ² hk)
D	: 逐次状態遷移式の状態量	(kcal/m ² h)
DN	: 方線面直達日射量	(kcal/m ² h)
DS	: 水平面天空拡散日射量	(kcal/m ² h)
F	: 天空率	
GS	: 全日射量	(kcal/m ² h)
S	: 日照面積率	
T	: 温度	(K or °C)
α	: 対流熱伝達率	(kcal/m ² hk)
ϵ	: 放射率	
θ	: 当該方位への太陽入射角	(rad.)
ρ	: 地表面のAlbedo(日射反射率)	
σ	: Stephan-Boltzman定数	(kcal/m ² hk ⁴)

サフィックス

g : 地表面 j : 当該部位表面
 n : 時刻 o : 反対側部位表面
 oa : 外気 os : 当該方位表面

式(1) 左辺第1項は対流熱量, 第2項は長波放射収支量, 第3項は短波放射収支量, 第4項は伝導熱量をそれぞれ示す。第1項に含まれる屋外部位表面の対流熱伝達率は方位ごとに, その方向・傾斜および気象データの風向・風速から次式で決定する。垂直面^{※3)}では

$$\alpha_{os,j,n} = 4.0 + 6.5 v_n \dots\dots\dots(2)$$

風上側 $V_n \geq 2.0, v_n = 0.25 \cdot V_n$
 $V_n \leq 2.0, v_n = 0.5$

風下側 $v_n = 0.3 + 0.05 V_n$

水平面^{※4)}では

$$\alpha_{os,j,n} = 7.5 + 2.0 \cdot v_n \dots\dots\dots(2')$$

$$v_n = 0.3 + 0.05 V_n$$

記号

V : 風速 (m/s), v : 壁面近傍風速 (m/s)
 α : 対流熱伝達率 (kcal/m²hk),

2.3 壁体表面での伝導熱

伝導熱の計算には近似伝達関数を用いた逐次状態遷移式^{※5), 6), 7)}を使用する。近似伝達関数を用いれば特性方程式の根と係数が有限個で求められる。更に, 一定値以上の根と係数を瞬間熱流項として処理する近似単位応答を次式で定義する。

$$\phi_m(t) = A_o + \sum_{k=1}^{K'} A_{m,k} \cdot \exp(-\alpha_k \cdot t) + Q_m \cdot \delta(t), Q_m = \sum_{k=K'+1}^K A_{m,k} / \alpha_k \dots\dots\dots(3)$$

記号

A_o : 熱コンダクタンス (kcal/m²hk)
 A_m : 特性方程式の係数 (kcal/m²hk)
 K : 特性方程式の根および係数の数
 Q_m : 瞬間吸熱項 (kcal/m²k)
 t : 時間 (h)
 α : 特性方程式の根
 δ : Dirackのデルタ関数 (1/h)
 ϕ_m : 近似単位応答 (kcal/m²hk)

サフィックス

$m=j$: 当該表面励振に対する当該表面応答(吸熱応答)
 $m=o$: 反対側表面励振に対する当該表面応答(貫流応答)
 k : 特性方程式の項

近似伝達関数を用いた特性方程式の根と係数の求め方は参考文献を参照されたい。この近似単位応答の梯型ホールド(梯型波励振)から逐次状態遷移式が得られる。逐次状態遷移式は逐次(項別)型のたたみこみ積分により表面温度励振に対する表面熱流応答を計算する。

$$y_{m,n} = A_o \cdot T_{m,n} + \sum_{k=1}^{K'} W_{m,k,n} + Q_m (T_{m,n} - T_{m,n-1}) / \Delta \dots\dots(4)$$

ただし, $\phi_k = \exp(-\alpha_k \cdot \Delta)$ として

$$W_{m,k,n} = \phi_k \cdot W_{m,k,n-1} + A_{m,k} \{1 - \phi_k\} (T_{m,n} - T_{m,n-1}) / (\alpha_k \cdot \Delta)$$

記号

T : 温度 (K or °C)
 W : 逐次状態遷移量 (kcal/m²)
 y : 熱流 (kcal/m²)
 Δ : サンプリング時間 (h)

ある表面での伝導熱流は, 当該表面での温度励振による吸熱応答と反対側表面の温度励振による貫流応答の和となる。また, 温度励振は梯型波であり, ある時刻の温度の突変を許すので, 時刻の前後を土で区別すると伝導熱流 $CD_{j,n}$ は最終的に次式となる。

$$CD_{j,n} = B_o \cdot T_{o,n} - B_j \cdot T_{j,n} + D_{j,n} \dots\dots\dots(5)$$

$$B_o = \{A_o + \sum_{k=1}^{K'} A_{o,k} (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) + Q_o / \Delta\}$$

$$B_j = \{A_o + \sum_{k=1}^{K'} A_{j,k} (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) + Q_j / \Delta\}$$

$$D_{j,n} = \left[\sum_{k=1}^{K'} A_{o,k} \{ \phi_k - (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) \} - Q_o / \Delta \right] T_{o,n-1} - \left[\sum_{k=1}^{K'} A_{j,k} \{ \phi_k - (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) \} - Q_j / \Delta \right] T_{j,n-1} + \sum_{k=1}^{K'} X_{k,n-1}$$

$$X_{k,n-1} = \phi_k \cdot X_{k,n-2}$$

$$+ A_{o,k} \{ (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) - 1 \} T_{o,n-1}$$

$$- A_{j,k} \{ (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) - 1 \} T_{j,n-1}$$

$$+ A_{o,k} \{ \phi_k - (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) \} T_{o,n-2}$$

$$- A_{j,k} \{ \phi_k - (1 - \phi_k) / (\alpha_k \cdot \Delta) \} T_{j,n-2}$$

2.4 室内表面の熱収支

ある方位(サフィックス m で示す)のある部位をサフィックス j で示す。特定の方角 M に含まれる部位数を J とする。この時, 各部位の値から次の特定方位の値を求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{方位の面積} & : S_M = \sum_{j=1}^J S_j \\ \text{方位の表面温度} & : T_M = \sum_{j=1}^J T_j \cdot S_j / S_M \\ \text{方位の日射吸収率} & : a_M = \sum_{j=1}^J a_j \cdot S_j / S_M \\ \text{方位の日射反射率} & : \rho_M = \sum_{j=1}^J \rho_j \cdot S_j / S_M \\ \text{方位の放射率} & : \varepsilon_M = \sum_{j=1}^J \varepsilon_j \cdot S_j / S_M \end{aligned}$$

ε : 放射率, ρ : 日射反射率
 σ : Stephan-Boltzman 定数 (kcal/m²hk⁴)
 サフィックス
 i : 室内空気, is : 室内表面
 j : 当該部位表面, L : 長波成分
 M : 当該部位を含む方位, m : 方位
 n : 時刻, o : 反対側表面
 S : 短波成分, w : 窓

室内表面の放射熱授受は短波および長波の吸収係数を用いて計算する²⁾。その際、吸収係数はこの方位単位で求め、方位単位で放射熱授受を計算した後、各部位へ分配する。そのために、次に示す部位面積と部位日射吸収率および部位放射率の方位内積和を求めておく。

$$S_{AM} = \sum_{j=1}^J a_j \cdot S_j \quad S_{EM} = \sum_{j=1}^J \varepsilon_j \cdot S_j$$

室内部位表面(j)の熱収支は次式で表される。

$$\begin{aligned} & \alpha_{is,M,n} (T_{i,n} - T_{j,n}) \\ & + \varepsilon_{j,n} \left(\sum_{m=1}^6 \varepsilon_{m,n} \cdot S_m \cdot \beta_{m,M,n} \cdot \sigma \cdot T_{m,n}^4 - \sigma \cdot T_{j,n}^4 \right) / S_{EM,n} \\ & + \varepsilon_{j,n} (HU_{L,n} \cdot \beta_{m=5,M,n} + IL_{L,n} \cdot \beta_{m=6,M,n}) / S_{EM,n} \\ & + a_{j,n} \cdot \sum_{w=1}^W (TDN_{w,M,n} + TDS_{w,n} \cdot \gamma_{w,M,n}) / S_{AM,n} \\ & + a_{j,n} \cdot \sum_{w=1}^W \sum_{m=1}^6 TDN_{w,m,n} \cdot \rho_{m,n} \cdot \gamma_{m,M,n} / S_{AM,n} \\ & + a_{j,n} IL_{s,n} \cdot \gamma_{m=6,M,n} / S_{AM,n} \\ & + B_o \cdot T_{o,n} - B_j \cdot T_{j,n} + D_{j,n} = 0 \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

記号

- a : 日射吸収率
- B : 逐次状態遷移式の係数 (kcal/m²hk)
- D : 逐次状態遷移式の状態量 (kcal/m²h)
- HU : 人体発熱量 (kcal/h)
- IL : 照明器具発熱量 (kcal/h)
- J : 当該方位に含まれる部位の総数
- S : 面積 (m²)
- SA : 部位面積と部位日射吸収率の方位内積和 (m²)
- SE : 部位面積と部位放射率の方位内積和 (m²)
- T : 温度 (K or °C)
- TDN : 窓を透過する直達日射量 (kcal/h)
- TDS : 窓を透過する拡散日射量 (kcal/h)
- W : 室の窓の総数
- α : 対流熱伝達率 (kcal/m²hk)
- β : 長波吸収係数, γ : 短波吸収係数

式(6)の左辺第1項は対流伝熱量を示す。対流熱伝達率は室の各方位内では一定とし、空調時と非空調時、自然対流と強制対流を考慮して、次式で与える⁸⁾。但し、室内風速(V m/s)は後述する換気流入風量を室容積の2/3乗で除した値とする。

- 空調時, 風速0.3m/s以上
 全方位一律 $\alpha_{is,M,n} = 5 + 3.4 V$
- 空調時, 風速0.3m/s以下
 全方位一律 $\alpha_{is,M,n} = 6.02$
- 非空調時, 風速0.3m/s以上
 全方位一律 $\alpha_{is,M,n} = 5 + 3.4 V$
- 非空調時, 風速0.3m/s以下
 方位表面温度と室内空気温度の差を ΔT として
 垂直方位 $\alpha_{is,M,n} = 1.53 \Delta T^{0.25}$
 水平方位 $\alpha_{is,M,n} = 2.15 \Delta T^{0.25}$ or
 $\alpha_{is,M,n} = 1.13 \Delta T^{0.25}$

式(6)左辺の第2項は壁面間の長波相互放射、第3項は人体および照明器具と壁面の相互放射の項である。共に、長波吸収係数を用いて計算する。吸収係数は面 L から射出された放射が最終的に面 J に吸収される割合 $\beta_{L,J}$ を次式で表現する⁹⁾。

$$\beta_{L,J} = F_{L,J} \cdot \varepsilon_J + \sum_{k=1}^K F_{L,k} (1 - \varepsilon_k) \beta_{k,J} \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 ε は放射率、 $F_{L,k}$ は面 L が面 k を見る形態係数であり、一般の面を k 、その総数を K としている。各吸収係数の値を求めるためには、式(7)の形で表現される連立方程式を解かねばならない。

式(6)の第4項は窓面透過日射の壁面での吸収、第5項は透過直達日射の壁面での相互放射、第6項は照明器具と壁面の相互放射の項である。計算に必要な短波吸収係数は長波吸収係数と同様に、日射吸収率を a 、日射反射率を ρ として次式で求められる⁹⁾。

$$\gamma_{L,J} = F_{L,J} \cdot a_J + \sum_{k=1}^K F_{L,k} \cdot \rho_k \cdot \gamma_{k,J} \dots\dots\dots(8)$$

なお、式(6)中で日射吸収率、放射率、長波および短波の吸収係数など、放射特性を表す係数に時刻を示すサフ

ィックス n が付くのは、窓のカーテンや障子の影響で室の放射特性が変化するのに対処するためである。

2.5 室内空気温度

当該室 i において、外気と連結する換気口を u で表し、その総数を U とする。同様に、隣室と連結する換気口を v で表し、その総数を V とする。この時、室内空気温度は後退差分を用いて、次式で表される。

$$RQ_i(T_{i,n} - T_{i,n-1}) / \Delta = \sum_{m=1}^6 \alpha_{is,m,n} \sum_{j=1}^J S_j(T_{j,n} - T_{i,n}) + \sum_{u=1}^U C_{oa,n} \cdot G_{oa,n}(T_{oa,n} - T_{i,n}) + \sum_{v=1}^V C_{r,n} \cdot G_{r,n}(T_{r,n} - T_{i,n}) + HU_{c,n} + IL_{c,n} + EQ_{c,n} + HL_n \dots\dots\dots(9)$$

記号

- C : 空気の比熱 (kcal/kgK)
- EQ : 室内機器の発熱量 (kcal/h)
- G : 換気風量 (kg/h)
- HL : 除去 or 供給熱量 (kcal/h)
- HU : 人体発熱量 (kcal/h)
- IL : 照明器具発熱量 (kcal/h)
- J : 方位内部位の総数
- RQ : 家具を含む室内熱容量 (kcal/K)
- S : 面積 (m²)
- T : 温度 (K or °C)
- U : 外気と連結する換気口の総数
- V : 隣室と連結する換気口の総数
- α : 対流熱伝達率 (kcal/m²hk)
- Δ : 計算時間間隔 (h)

サフィックス

- c : 対流成分, i : 当該室内空気, is : 室内表面
- i' : 隣室空気, j : 部位表面, m : 方位
- oa : 外気, u : 外気と連結する換気口
- v : 隣室と連結する換気口

式(9)の右辺第2項および第3項は当該室に対して、流入の時のみ計算する。

2.6 換気風量^{x10)}

前節で示した式(9)には室と外気および隣室間の換気風量が必要である。室の換気量として、外気に対する換気回数を設定する方法も考えられる。しかし、ここではその便法は用いず、換気口を開口と隙間に区分し、その通

過風量を求める。換気の駆動力は風圧力と浮力を考え、開口および隙間の圧力損失のみを対象とする。当該室を i 、隣室を j 、屋外を o 、換気口を n とすると、換気口での圧力差と通過風量は次の関係になる。

圧力差

$$\text{外壁 } P_n = C_n \cdot \gamma_o \cdot v_o^2 / 2g + h_n(\gamma_i - \gamma_o) - p_i$$

$$\text{内壁 } P_n = h_n(\gamma_i - \gamma_j) + p_j - p_i$$

通過風量

$$\text{開口 } G_n = \gamma \cdot 3600 \cdot A_n \cdot \alpha_n (2g \cdot P_n / \gamma)^{1/2}$$

$$\text{隙間 } G_n = \gamma \cdot s_n \cdot L_n \cdot P_n^{2/3}$$

記号

- A : 開口面積 (m²), C : 風圧係数
- G : 通過風量 (kg/h), g : 重力加速度 (m/s²)
- h : 換気口高さ (m), L : 隙間長さ (m)
- P : 換気口差圧 (kg/m²), p : 室内圧 (kg/m²)
- s : 隙間定数, v : 屋外風速 (m/s)
- α : 流量係数, γ : 空気の比重 (kg/m³)

ここで、空気の比重 γ は、その空気の温度を T として次式で与える。

$$\gamma = 353 / (273 + T)$$

各室では流量収支が成り立たなければならない。つまり、流入量を正、流出量を負とすれば、その総和が0となる。 i 室に所属する換気口を m とする。換気口の通過風量は室内圧 p の関数であるから

$$F_i(p_1, \dots, p_i, \dots, p_l) = \sum G_m = 0$$

となる関係が各室で成立する。建物全体での関係をベクトル表示すれば次式となる。

$$F(p) = 0 \dots\dots\dots(10)$$

今、室内空気温度を既知として式(10)で示される非線形連立方程式をニュートンラプソン法で解く。 k 回目の計算値とそれを用いた $k+1$ 回の修正値は次の関係である。

$$P_{k+1} = P_k - F(P_k) / F'(P) \dots\dots\dots(11)$$

このままでは分母にヤコービアン(偏微分行列)があり、その逆行列が必要となるため、次式に変形する。

$$(P_k - P_{k+1}) F'(P) = F(P_k) \dots\dots\dots(12)$$

式(12)を線形連立方程式として P_{k+1} について解けば修正値が得られる。但し、このままでは解が発散することが多いので、式(12)を解いて得られる $k+1$ 回目の修正値を次のように不足(過少)緩和した P_{k+1}' を用いるとよい。

$$P_{k+1}' = (P_k - P_{k+1}) / 2$$

なお、式(12)に必要なヤコービアンは通過風量の計算を P_k の値を若干ずらして2回行うことで数値的に求められる。

3. マイコン計算のためのアルゴリズム

前章の式(1), (6), (9)を連立させて解けば建物内の表面温度および室内空気温度（あるいは除去熱量）が得られる。但し、表面温度の4乗を含む非線形連立方程式である点、大次元のマトリックスが必要となる点でマイコンの記憶容量および速度ではとても計算できない。そこで、式(1), (6), (9)をそれぞれ次のように変形する。

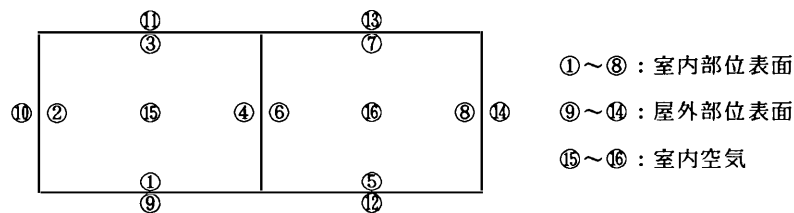
$$\begin{aligned}
 & (\alpha_{os,j,n} + B_j) T_{j,n} - B_o \cdot T_{o,n} = \\
 & \alpha_{os,j,n} \cdot T_{oa,n} + \epsilon_j \{ F_j \cdot A H_n + \epsilon_g (1 - F_j) \sigma \cdot T_{oa,n}^4 \} \\
 & + a_j \{ S_{j,n} \cdot D N_n \cdot \cos(\theta_{j,n}) + F_j \cdot D S_n + (1 - F_j) \rho \cdot G S_n \} \\
 & + D_{j,n} - \epsilon_j \cdot \sigma \cdot T_{j,n}^4 \dots \dots \dots (1')
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\alpha_{is,M,n} + B_j) T_{j,n} - B_o \cdot T_{o,n} - \alpha_{is,M,n} \cdot T_{i,n} = \\
 & + \epsilon_{j,n} \left(\sum_{m=1}^6 \epsilon_{m,n} \cdot S_m \cdot \beta_{m,M,n} \cdot \sigma \cdot T_{m,n}^4 - \sigma \cdot T_{j,n}^4 \right) / S E M_n \\
 & + \epsilon_{j,n} (H U L_n \cdot \beta_{m=5,M,n} + I L L_n \cdot \beta_{m=6,M,n}) / S E M_n
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + a_{j,n} \cdot \sum_{w=1}^W (T D N_{w,M,n} + T D S_{w,n} \cdot \gamma_{w,M,n}) / S A M_n \\
 & + a_{j,n} \cdot \sum_{w=1}^W \sum_{m=1}^6 T D N_{w,m,n} \cdot \rho_{m,n} \cdot \gamma_{m,M,n} / S A M_n \\
 & + a_{j,n} I L L_n \cdot \gamma_{m=6,M,n} / S A M_n + D_{j,n} \dots \dots \dots (6') \\
 & (R Q_i / \Delta + \sum_{m=1}^6 \alpha_{is,m,n} \sum_{j=1}^J S_j + \sum_{u=1}^U C_{oa} \cdot G_{oa} + \sum_{v=1}^V C_j \cdot G_j) T_{i,n} \\
 & - \sum_{m=1}^6 \alpha_{is,m,n} \sum_{j=1}^J S_j \cdot T_{j,n} - \sum_{v=1}^V C_i \cdot G_i \cdot T_{i,n} \\
 & = R Q_i / \Delta \cdot T_{i,n-1} + \sum_{u=1}^U C_{oa} \cdot G_{oa} \cdot T_{oa,n} \\
 & + H U_{c,n} + I L_{c,n} + E Q_{c,n} + H L_n \dots \dots \dots (9')
 \end{aligned}$$

式(1'), (6'), (9')の左辺に含まれる温度を未知数、右辺を既知数として連立1次方程式を解く。右辺に含まれる温度の4乗項は、温度をいったん既知であるとし（例えば、1時刻前の温度計算値）、左辺の計算結果の温度で順次置き換える収束計算をする。連立1次方程式は行列の3角分解を用いて解く。その際、各式の左辺の係数は変化しないものとすれば、前進分解は1度でよく、右辺の計算と後退代入のみを繰り返せばよい。

温度の4乗項の処理としては、線形化を行う方法が一般的である。4乗項の差を



建物の模式図と温度計算点

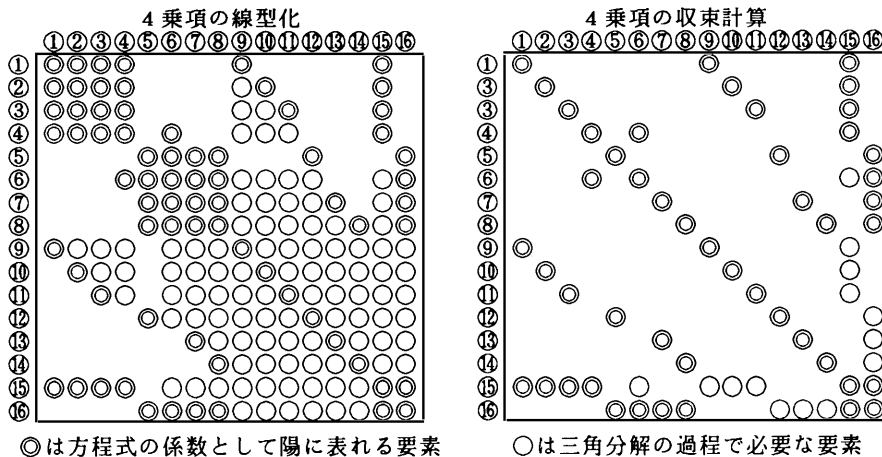


図1 行列の3角分解に必要なマトリックス要素

$$T_1^4 - T_2^4 = 4 \left\{ (T_1 + T_2) / 2 \right\}^3 (T_1 - T_2)$$

と近似し、 T_1 と T_2 の平均温度に適当な値を仮定する、もしくは計算の過程で入れ替える方法である。この方法では式(1)、(6)、(9)の左辺に室内のすべての部位の温度が表れる。この方法(4乗項の線形化)と前述の4乗項の収束計算で、3角分解の過程でどのくらいの計算と記憶要素が必要かを比較したものが図1である。図1に示す建物は簡便のため、1方位1部位の壁・天井と床は無視してある。4乗項の収束計算では計算に実際に必要なマトリックス要素は非常に少なくすむ。この計算に必要な要素のみを1次元配列に隙間なく収容することにすればマイコンでも多数室の相互放射を考慮した計算が可能となる。もちろん、収束計算は計算を繰り返すのであるが、1回ごとの計算量は少ない。従って、4乗項の線形化による計算に比べて、計算量が増大することはない。ただし、マトリックスの作成順序には注意を要する。図1では上から表面温度、最後に室内空気温度を並べてある。この順序を逆にすると、3角分解の過程で必要となる要素の数が劇的に増加してしまう。

4. 全体のシステムと建物データの作成

4.1 全体のシステム

本体の容量640KBのマイコンでOSとしてMS-DOSを想定したシステムを構成した。現在、計算可能な住宅の規模は戸建住宅を想定して次のようになっている。

室数：床下、小屋裏を含めて30室、3階建まで。
 通気層：室とは別に温度を計算する空気層200層。
 室内部位：800部位
 屋外部位：150部位
 換気口：400か所

従って、最大 $30 + 200 = 230$ 点の空気温度、 $800 + 150 = 950$ 点の表面温度、400か所の通過風量をシュミレートできる。

プログラム言語はFORTRANを使用し、6個の実行ファイルを3個のバッチファイルで制御する。

MAKE. BAT: 建物の識別名、階数、敷地の規模、プラン入力メッシュ寸法を入力すれば建物データ入力ファイルを作成する。

STEP0. EXE: データ入力ファイル作成プログラム
 CHECK. BAT: MAKE ステップで作成した建物データ入力ファイルをエディターで呼び出し、データを完成させる。また、データチェックプログラムを呼び出しデータに誤りがあればエラーメッセージを表示する。

STP1. EXE: データチェックプログラム
 GO. BAT: CHECK ステップで作成したデータにより室

変動・熱負荷計算を実行し、結果を表示する。

STEP2. EXE: データ前処理プログラム

STEP3. EXE: 熱・換気回路網作成プログラム

STEP4. EXE: 計算実行プログラム

STEP5. EXE: 計算結果表示プログラム

以上のプログラムは合計で約1.5MBあり、他に建物データ入力ファイル、中間データファイル、計算結果ファイルが合計約2MBの容量が必要である。従って、ハードディスクでの運用が望ましいが、フロッピーディスク4枚と4MBのラムディスクでも運用可能である。

4.2 建物データの作成

第3章で述べた方法でマイコンによる詳細な多数室の室温変動・熱負荷計算が可能となったとしても、建物データの入力方法の難点が解消されるわけではない。数値データの羅列による建物データの作成は、どのようにマニュアルが整備されたとしても一般のユーザーには膨大な時間を要求する。また、その数値そのものの持つ意味もプログラム作成者以外には分かりづらい。更に、数値の誤記、予期せぬ数値の解釈違いが起る可能性もある。

この難点を解消し、建築図面を判読できる程度のユーザーであれば建物データの作成を可能としたのが以下に述べる方法である。

4.1のMAKEステップを完了した時点で、ワークシートと座標のみが書き込まれたプランシートが作成される。実際のワークシートには数値を記入すべき所はD、記号を記入すべき所はCと書かれているのでその部分のみ記入すればよい。また、選択すべき数値・記号はマニュアルが無くてよいようにすべて説明がワークシート中に書かれている。このワークシートの括弧内に数値もしくは記号を記入し、プランシート上に指定された記号でプランを作画すれば建物データの作成は終了する。後はチェックプログラムを起動してエラーがあればその指示に従って書き直せばよい。表1はそのワークシートの主要部である。但し、紙面の都合上すでに完成したワークシートになっているし、省略されている部分もある。図2に示すモデル住宅を対象として、表1のワークシートおよび図3のプランシートを完成させる手順を追いながら、プログラム内部でどのような処理が行われるかを解説する。

A. 建物概要

[家族数]には家族の人数、[方位の振れ]には建物の方位を記入する。建物の南北軸のずれを角度で指定し、時計回りを正とする。西に15°振れていれば{15.0}になる。[都府県番号]には建物の所在する都府県の番号を記入する。実際のワークシートでは都府県の一覧表がこ

表1 建物データ用ワークシート

建物概要		全家族数 = { 4 }, 方位の振れ = { 15.0 } 度, 都府県番号 = { 21 }	
建物各所の地盤面からの高さ(m)		1階 床={ 0.4 } 天井={ 2.9 }, 2階 床={ 3.3 } 天井={ 5.8 }, 屋根={ 6.2 }	
外装仕上	外壁={ 2 } 屋根={ 1 } 外装色={ 1 }	外壁 ; { 1 }=サイディング, { 2 }=モルタル 屋根 ; { 1 }=カラーベスト, { 2 }=瓦, { 3 }=カラー鉄板 外装色; { 1 }=明色, { 2 }=中間色, { 3 }=暗色	
室データ (大人寝室, 子供部屋には就寝の人数を記入)			
	室 床 I1 N. I2 FL+	室 床 I1 N. I2 FL+	室 床 I1 N. I2 FL+
	S1={ML }{ . }, S4={GE }{TA . }, S7={UT }{ . }, S10={CB 1}{ . }, S13={CG 1}{ . }, S16={CO }{ . }, S19={CL }{ . }, S22={NU }{OP . }, S25={ }{ . }	S2={LI }{ . }, S5={BA }{ . }, S8={CO }{ . }, S11={CL }{ . }, S14={UT }{ . }, S17={CO }{ . }, S20={GE }{TA . }, S23={ }{ . }, S26={ }{ . }	S3={KI }{ . }, S6={UT }{ . }, S9={EN }{CO -0.2 } S12={CL }{ . }, S15={UT }{ . }, S18={AB 2}{ . }, S21={CL }{ . }, S24={ }{ . }
室用途記号 I1 {ML }=主居間, {LI }=居間系統, {KI }=台所, {AB *}=大人寝室, {CB *}=子供部屋 {UT }=洗面・トイレ, {BA }=風呂, {CO }=廊下, {EN }=玄関, {GE }=座敷・応接 {CL }=押入, {OP }=事務室, {SH }=店舗, {NU }=未使用室			
床仕様記号 I2 { } or {WO }=フローリング, {CA }=絨毯, {TA }=畳, {CO }=土間(接地)床, {OP }=開口・吹抜			
屋根データ 方位 勾配 方位 勾配 方位 勾配 方位記号 R1={B}{ . /10}, R2={N}{6.0/10}, R3={S}{6.0/10}, {S};南流, {W};西流 R4={E}{6.0/10}, R5={ }{ . /10}, R6={ }{ . /10}, {N};北流, {E};東流 R7={ }{ . /10}, R8={ }{ . /10}, R9={ }{ . /10}, {B};ベランダ・バルコニー			
特殊床データ 仕上 仕上 仕上 仕上 仕上 仕上 F1={WO}, F2={OP}, F3={ }, F4={ }, F5={ }, F6={ } 床仕上記号 {WO}=フローリング, {CA}=絨毯, {TA}=畳, {CO}=土間(接地)床, {OP}=開口・吹抜			
ドアデータ ドア高(m) 種別 ドア高(m) 種別 ドア高(m) ドア種別 D1={4} H={2.0 }, D2={1} H={2.0 }, D3={5} H={2.0 }, {1}=木製, {2}=断熱木製 D4={1} H={2.0 }, D5={8} H={2.0 }, D6={7} H={1.2 }, {3}=スチール, {4}=断熱スチール D7={ } H={ . }, D8={ } H={ . }, D9={ } H={ . } {5}=襖, {6}=障子 {7}=ガラス, {8}=開口			
窓データ オプション 窓種別番号 種別 I O S 窓高(m) FL.+(m) {1}=一重普通サッシ, {2}=一重気密サッシ W1={1} {1 1 NI} {2.2 } {0.0 } {3}=二重普通サッシ, {4}=二重気密サッシ W2={1} {1 NI} {1.2 } {0.8 } {5}=ペア普通サッシ, {6}=ペア気密サッシ W3={1} {1 1 NI} {2.0 } {0.0 } 内側オプション番号 I W4={1} { } {1.2 } {0.8 } {0 =無し, {1 =カーテン, {2 =障子 W5={1} {1 1 NI} {0.9 } {0.9 } {3 =断熱障子, {4 =断熱襖 W6={1} { } {0.75 } {1.05 } 外側オプション番号 O W7={1} { } {0.6 } {1.2 } {0 =無し, {1 =雨戸, {2 =断熱雨戸 W8={1} { } {0.9 } {0.9 } スケジュールオプション記号 S W9={1} { } {0.45 } {0.0 } {MO =午前, {AF =午後, {DA =昼間 {NI =夜間, {AL =全日			
塀・隣接建物データ : 地盤面からの高さ(m)を記入 A={ 2.9 }, B={ . }, C={ . }, J={ . }, K={ . }, L={ . }			
手摺データ : 床からの高さ(m)を記入 O={ 0.9 }, P={ . }, Q={ . }, T={ . }, U={ . }, V={ . }			

の下にある。この都府県番号の指定から標準気象データが呼び出される。標準気象データはすべての都府県でそろってはいないので、最も近い都市の標準気象データが割り付けられる。従って、建物は実際に存在する都府県ではなく、この標準気象データの都市に建っていると仮定して処理される。

B. 建物各所の地盤面からの高さ

建物各所の高さを指定する。モデル建物は2階建なので、1階床(1F)、1階天井(1C)、2階床(2F)、2階天井(2C)、2階屋根下端(2R)の地盤面からの高さを指定する。なお、このデータ記入欄はMAKEステップで

1階建の場合 (1F, 1C, 1R)

2階建の場合 (1F, 1C, 2F, 2C, 2R)

3階建の場合 (1F, 1C, 2F, 2C, 3F, 3C, 3R)

の高さを入力できるように自動的に作成される。また、プランシートについても、1階建の場合は1~2階、2階建の場合は1~3階、3階建の場合は1~4階の平面図が自動的に用意される。平面図の数が階数より1つ多いのは屋根のプランを入力するためである。

C. 外装仕上げ

外壁および屋根の種類、外装の色を指定する。外装の色から外壁の日射吸収率が設定される。

明色では日射吸収率：壁0.60、屋根0.80

中間色では日射吸収率：壁0.70、屋根0.85

暗色では日射吸収率：壁0.80、屋根0.90

である。なお、室内の日射吸収率は壁0.7、床0.8、天井0.6と仮定している。

D. 室データ

各室の仕様・在室者・床の仕上げ・床の高さを指定する。床の高さは「建物各所の地盤面からの高さ」で指定した床高からのずれである。なお、大人寝室と子供部屋では、その室で就寝する人数を指定する。この人数の合計は建物概要で指定した[家族数]に一致しなければならない。室用途から家具を含む室の熱容量・在室者・機器発熱・照明の毎時のスケジュールが設定される。このスケジュールデータは必要に応じて書き換えが可能である。

E. 屋根データ

屋根の勾配と方位を指定する。9種類の屋根を、プランシート中で20か所まで指定できる。

F. 特殊床データ

室内の床の一部が「室データ」で指定した床と異なっている場合の指定である。6種類の床をプランシート中で20か所まで指定できる。

G. ドアデータ

ドアの種類と高さを指定する。8種類のドアが選択可能である。障子・ガラスは短波放射について透過性があるとして取り扱う。開口では短波のみならず長波も透過する。このドアデータの高さとプランシートのドアの幅からドアの召合せ長さが計算され、換気計算用データが自動的に作成される。

H. 窓データ

種類・オプション・窓の高さと窓下端の床面からの高さを指定する。窓の種類は、現在6種類の指定が可能である。窓には、その室内および屋外側に日射遮蔽や防寒のためのオプションを指定できる。窓室内側のオプションを指定した場合には、同時にそのスケジュールを指定しなければならない。屋外側のオプションは夜間のみ作動すると仮定している。この窓データの高さとプランシートのドアの幅からドアの召し合わせ長さが計算され、換気計算用データが自動的に作成される。

I. 塀・隣接建物データ

塀および隣接建物による日照障害を考慮するため、それらの障害物の高さを指定する。6種類の高さで平面図では20か所まで指定できる。次に述べる「手摺」との相違点は、本データで指定されるものは地盤面から直立している点と仮定する点である。

J. 手摺データ

バルコニー等の手摺による日照障害を考慮するため、それらの高さを指定する。6種類の高さで平面図では20か所まで指定できる。本データで指定されるものは指定された階の床から直立していると仮定する点である。なお、室外にある外壁もこのデータと同様に当該階の床からその上の階の床までの高さの手摺として取り扱われる。

K. プランシートの作成

壁をその構成の違いによって記号で区分し、ドア・窓と組み合わせるプランを作成する。別途、壁の構成を指定することで壁体熱伝導の非定常計算を実行する。

エディターを用いてプランシートを作成するためにいくつかの規則がある。

1. 接合部は+で指定する。
2. 室・屋根・特殊床の形状は矩形でなければならない。
3. 室・屋根・特殊床の矩形はその内部の右上隅にそれぞれ、S・R・Fと指定し、この記号の直右もしくは直下にその種類を示す数字が必要である。
3. 室は外壁・内壁・ドア・窓を示す記号で囲う。
4. 屋根は外壁・屋根・塀・手摺を示す記号で囲う。
5. 特殊床は外壁・内壁・床を示す記号で囲う。

6. 特殊床は矩形で指定された範囲すべてが同一の室に属さなければならない。
7. 外壁・内壁・屋根・床・塀・手摺を指定する+～+の間に異なる記号の混在は許されない。
8. ドアは+の次(水平では左側, 垂直では真下)に{D}, その次にドアの種類を示す数字(1~9)が必要である。
9. 窓は+の次(水平では左側, 垂直では真下)に{W}, その次に窓の種類を示す数字(1~9)が必要である。

以上の方法により作成したワークシートが表1, プランシートが図3である。

5. 今後の課題

「マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算システムの開発」を目的に研究を行ってきた。身近にあるマイコンを利用する観点から, NEC-PC9801をMS-DOSで運用するシステムを開発した。本体容量640KB, DOSシステム等を除いて実際に利用できる容量としては500KB程度で多数室, 室内相互放射と空間相互換気を計算できるシステムを開発できたことには満足している。また, 表とプランを作成するだけで建物データを自動発行するシステムも室温変動計算の専門家でない一般のユーザーには大きな手助けとなると自負している。

一方で, 今後解決しなければならない問題も数多い。その1つの理由は, やはり, 住宅というものが非常に多様性に富んでいるという点である。現在のシステムで戸建在来木造住宅あるいは, 若干システムを改造してRC造学校建築などのシミュレーション¹¹⁾¹²⁾を行ってきた。もちろんこれが住宅のすべての形式とは考えていない。その意味で, 各種の住宅様式に対応できるように建物データの読み込みから実際の計算の間にSTEP2, STEP3の2段階のプログラムを用意している。このプログラムの各種の住宅様式に対応したバージョンを今後, 作成していかなければならない。

建物のプランの入力方法も今後改善の余地がある。エディターを用いた記号入力ではなく, グラフィックス入力が望ましいと考えてはいる。この点に関しては数種類のグラフィックス入力プログラムを作成したが, 640×400ドットの表示範囲の狭さで行き詰ってしまった。

最後に計算結果の表示方法がある。膨大な計算結果の中でなにが必要なのか。それはシステムの利用者個々によって異なると思われる。筆者はその点に関して明確なイメージを抱くには至っておらず, 皆様の有益なる示唆を頂きたいと考える次第である。

＜参考文献＞

- 1) 林, 浦野, 渡辺, 龍: 日照面の移動を考慮した壁体の熱伝導計算, 日本建築学会計画系論文報告集 No.364, pp.66-73, 1986年
- 2) 渡辺, 浦野, 林: 壁体表面放射収支の定量化とその室温変動解析への応用, 日本建築学会建築環境工学論文集 No. 4, pp. 147-152, 1982年
- 3) 木村, 石野, 他: 電算機による動的空調負荷計算法, 空気調和衛生工学 Vol. 46 No. 3, pp. 3-38, 1972年
- 4) 浦野, 渡辺: 水平屋根スラブの外表面顕熱収支測定と伝熱応答解析, 日本建築学会論文報告集 No.325, pp.93-103, 1983年
- 5) 浦野, 渡辺: 状態遷移行列による多層平面壁伝熱系の解析その1 近似伝達関数モデルの作成とその精度, 日本建築学会論文報告集 No.305, pp.97-113, 1981年
- 6) 浦野, 渡辺: 状態遷移行列による多層平面壁伝熱系の解析 その2 離散時間系の逐次計算方法とその精度, 日本建築学会論文報告集 No.311, pp. 57-66, 1982年
- 7) 渡辺, 尾崎, 浦野, 林, 龍: 離散時間系の壁体非定常伝熱計算式について, 日本建築学会計画系論文報告集 No.391, pp.8-19, 1988年
- 8) 林, 浦野, 渡辺, 龍: シミュレーションによる室温変動系の感度解析的考察, 日本建築学会建築環境工学論文集 No.5, pp.95-102, 1983年
- 9) Gebhart: A New Method for Calculating Radiant Exchange, ASHRAE Trans. Vol. 65, pp.321-332, 1959年
- 10) 林, 浦野, 片山, 須貝, 渡辺, 塩月, 張: Prediction of Air Distribution in Multiroom Buildings, Proc. of Roomvent-87 Sessin 4b, pp. 1-20, 1987年
- 11) 石原, 林, 田島: パッシブ・エアサイクル住宅の温熱性能に関する実験的研究(その4 シミュレーションによる自然室温と実測値の比較・検討), 日本建築学会九州支部研究報告 第33号 環境系, pp.153-156, 1992年
- 12) 梅干野, 林, 都, 飯野: パッシブシステムを取り入れた教室の熱環境に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集 No.433, pp. 11-19, 1992年

＜研究組織＞

主査	林 徹夫	九州大学総合理工学研究科助教授
委員	片山 忠久	九州大学総合理工学研究科教授
	塩月 義隆	九州大学総合理工学研究科助手