標高を考慮した住宅の省エネルギー基準の地域区分に関する考察

STUDY ON AREA CLASSIFICATION OF ENERGY CONSERVATION STANDARDS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS IN CONSIDERATION OF ALTITUDE

窪田真樹*, 二宮秀興**, 曾我和弘***

Masaki KUBOTA, Hideyo NIMIYA and Kazuhiro SOGA

In the energy conservation standards for residential buildings, the standard value for annual heating / cooling load is stipulated for each territory. The division of territory is determined based on the heating degree-days, which have high correlation with heating load. This paper clarifies the effect of altitude on this area classification, and examines a new area classification that reflects the altitude at an arbitrary point. The obtained results are as follows: (1) Heating / cooling degree-days have a close correlation with latitude and altitude. (2) By utilizing the relation between ambient temperature and altitude, the heating / cooling degree-days at sea level (0 m) without the effect of altitude can be obtained. (3) On the basis of the heating / cooling degree-day at sea level, the heating / cooling degree-days at an arbitrary point can be estimated. (4) By employing the estimated values of the heating / cooling degree-days, a new area classification corresponding to the trends in annual heating / cooling load at an arbitrary point can be performed.

Keywords : Energy conservation standards for residential buildings, Area classification, Heating /cooling degree-days, Correction of altitude

住宅の省エネルギー基準, 地域区分, 暖房・冷房度日, 高度補正

1. はじめに

我国では二度の石油危機を契機に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」が昭和 54 年に制定され、これに基づき住宅における省エネルギー対策を進めるべく、「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断基準」及び「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する設計及び施工の指針」(以下、これら二つを併せて「省エネルギー基準」¹⁾とする。)が昭和 55 年に制定された。省エネルギー基準では、住宅の空調熱負荷において暖房負荷が支配的であることから、暖房負荷の低減を目的とし、熱損失係数や最小断熱厚等の基準が定められた。

日本は北緯 20° から北緯 46° に及ぶ幅広い緯度域にある島国で、亜熱帯から亜寒帯まで広い気候帯にあり、さらに起伏に富んだ山脈が日本列島を縦横に走っているため、気候的差異が大きい。そこで、省エネルギー基準では、暖房負荷の程度に応じた適切な基準値を定めるため、同程度の気候の地域を一つにまとめる地域区分が考えられた。昭和 55 年当初の地域区分は、日本を 5 つの地域に区分し、各都道府県にそれぞれ 1 つの地域を割当て区分していた。暖房負荷を中心として日本全国を統一的な指標で区分するため、地域の選択

には暖房負荷と相関が高い暖房度日: D_{18-18} (以下、HDD18 とする。)が用いられている。また、当時の省エネルギー基準はあくまで判断の目安としての任意基準であり、普及を図る上で簡便なものとする行政的方針があったため、比較的大きな都道府県単位が用いられ、各地域内のある程度の気候的差異は許容されていた。

省エネルギー基準は、その後暖冷房等の普及による消費エネルギーの増加に応じるため、平成 4 年及び平成 11 年にそれぞれ断熱基準の強化や冷房負荷の低減を目的とした夏期日射取得係数の導入等が行われた。このとき、地域区分についても見直しが行われている。平成 4 年には冷房主体の沖縄等の南西諸島を考慮して、日本を 6 つの地域に区分することとなった。さらに、平成 11 年にはそれまでの都道府県を単位とする区分から市区町村を単位とする区分に改められた。このように地域区分の見直しでは、区分する地域の追加、適用する地域の細分化を行うことで、区分内の気候的差異を小さくすることを目指している。

しかし、現行の地域区分が適用単位としている市区町村内であっても標高に大きな差があるような場合、必ずしも気候状態が同じとは限らない。この点において現行の地域区分にはさらなる改善の余

* 鹿児島大学大学院理工学研究科
博士後期課程・修士(工学)

** 鹿児島大学大学院理工学研究科 教授・博士(工学)

*** 鹿児島大学大学院理工学研究科 准教授・博士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima Univ., M. Eng.

Prof., Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima Univ., Dr. Eng.

地がある。理想的には、建設地点ごとの気象データに基づき適用する地域区分を決定することであるが、アメダス気象データでも観測地点に限りがあり、任意地点の気象データを得ることは困難である。さらに、気温等の気象要素には年毎の変動があり、長期間の観測を行わなければ正確な気候状態を把握することはできない。そこで、本報では現行の地域区分に用いられた1981年から1995年の15年間の気象データを用い、任意地点における気候状態の表し方について考察する。また、住宅の空調熱負荷における冷房使用の増加を考慮し、現行の地域区分で対象としていない冷房負荷について、地域区分への必要性と導入方法を考察する。

日本全国の気候状態を表した気候分布の研究は、関口による気候区分²⁾等が挙げられる。建築の省エネルギーの観点から空調熱負荷に着目した気候分布については、省エネルギー住宅システムの開発報告書³⁾で検討がなされている。報告書では、日本全国152地点の気象官署の1951年から1980年の30年間の月別気象統計値を利用してM値^{注1),4)}を算出し、目的変数をM値、説明変数を緯度、標高とした重回帰分析が行われている。この重回帰分析の結果、M値と緯度、標高に高い相関があることが示されており、日本全国の気候分布には緯度、標高が大きく関わっていることが分かる。しかし、一方で冬期の太平洋側と日本海側の天気の違いのような特有の気候状態による緯度、標高以外の要因に起因した気候分布への影響も示唆されている。本報では既往の研究結果³⁾を踏まえ、緯度、標高の影響に留意して、任意地点における地域区分に必要な気候状態の表し方とそれを利用した地域区分の方法を論ずる。

2. 暖冷房負荷と気候指標の関係性

地域区分を行うにあたって、始めに現行の地域区分同様に気候状態を表す気候指標を定める。暖房負荷と相関が高い気候指標には、現行の地域区分の判断材料として用いられているHDD18⁵⁾の他、既往研究³⁾により示されたM値を用いて算出する暖房デグリM値^{注2),5)}：HDM₂₄₋₂₄（以下、HDM24とする。）がある。M値は気温、水平面全天日射量、絶対湿度の3気象要素の日平均値を重み付け線形結合した単一指標である。このことから、HDM24は暖房負荷への日射や湿度の影響についても表していると言える。拡張アメダス気象データ⁶⁾（以下、EA気象データとする。）における日本全国842地点の1981年から1995年を対象とした標準年気象データを用い、それぞれの気候指標と暖房負荷を計算し、図1にHDD18と暖房負荷、図2にHDM24と暖房負荷の相関関係を示す。ここで用いる暖房負荷は、図5に示す「住宅事業建築主の判断基準の住宅モデル」⁷⁾を対象としてSMASH⁸⁾を用い計算したものである。図1、図2よりHDD18、HDM24ともに暖房負荷との高い相関が確認できる。さらに、図1と図2を比較すると、暖房負荷に対するHDD18とHDM24の相関関係に大きな違いがないことが分かる。これより、気温のみの気候指標で暖房負荷との関係を十分に示すことができると言える。また、日射の影響は建物モデルや隣棟の有無等の敷地条件に左右され、湿度は気温と高い相関関係にある。よって、本報では日射、湿度の影響を含まないHDD18を気候指標とする。

同様に冷房負荷についても図3に冷房度日：D₂₂₋₂₂（以下、CDD22とする。）と冷房負荷、図4に冷房デグリM値^{注3),5)}CDM₂₄₋₂₄：（以

図1 HDD18と暖房負荷の相関

図2 HDM24と暖房負荷の相関

図3 CDD22と冷房負荷の相関

図4 CDM24と冷房負荷の相関

下、CDM24 とする。)と冷房負荷の相関関係をそれぞれ示す。図より CDD22 が冷房負荷と高い相関関係にあることが分かるので、冷房負荷について考慮する際は CDD22 を気候指標とする。

■1階平面図

■2階平面図

図5 住宅事業建築主の判断基準の住宅モデル(平面図)⁷⁾

3. HDD18に対する緯度、標高の影響と高度補正

図6にHDD18の分布を示す。図6より高緯度になるに従ってHDD18が増加することを確認できる。さらに、図6では同程度の緯度域と比較してHDD18が大きく島状に分布している地域が見られた。この島状の分布が現れる場所は主に標高の高い地域で、周辺地域との高低差の影響によって気温差が生じ、このような分布傾向を示したものと推察される。気温減率は対流圏で $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 程度⁹⁾と知られており、標高が高くなることで気温が低下し、HDD18が増加したと説明できる。次に、標高以外の要因による影響について考察するため、気温減率を用いた式(1)による海拔0mへの高度補正を試みる。

$$T_0 = T + 0.006 h \quad (1)$$

T_0 : 海拔0mにおける気温 $^{\circ}\text{C}$ T : 各地点標高での気温 $^{\circ}\text{C}$

h : 標高[m]

式(1)を用いて海拔0mにおける日平均気温を算出し、海拔0mにおけるHDD18(以下、HDD18_{0m}とする。)を求める。図7にHDD18_{0m}の分布を示す。図6に見られた島状に存在していた分布が、図7では見られない。これより、図6に見られた島状の分布が標高に起因していたことが分かる。また、図7はHDD18への標高以外の要因に起因した影響が表された分布となっているので、図に見られる高緯度になるに従ってHDD18_{0m}が増加する傾向は、HDD18と緯度の関係性を示していると言える。しかし、HDD18_{0m}の分布は、完全に緯度に沿ったものではなく、海洋や地形等の影響も考えられる。

4. 任意地点における地域区分

本節ではこれまでに分かったHDD18及びHDD18_{0m}と緯度、標高の関係を踏まえて、任意地点に適応した地域区分の方法を考察する。始めに任意地点での気候状態を表す方法としてHDD18の推定を試みる。推定したHDD18(以下、HDD18_{est}とする。)を用いることで、気象データを得ることが困難な地域についても気候状態を判断し、それに則した適切な地域区分を可能にする。HDD18の推

図6 HDD18の分布

図7 HDD18_{0m}の分布

定方法として既往研究³⁾を参考にし、式(2)に示す緯度、標高を用いた重回帰式による近似を試みる。図8に観測値より算出したHDD18と重回帰式によるHDD18_{est}の相関関係を示す。図より比較的高い相関が確認できる。しかし、近似直線の傾きやHDD18の4900℃・日付近における下方へのプロットの偏りも見られ、RMSEは200℃・日を超える。この推定誤差は、既往研究³⁾においても指摘されている緯度、標高以外の要因による影響である。

$$\text{HDD18}_{\text{est}} = 252.0 \phi + 1.587 h - 6869 \quad (2)$$

HDD18_{est}: HDD18の推定値[℃・日] ϕ : 緯度[°] h : 標高[m]

図8 HDD18と重回帰式によるHDD18_{est}の相関

そこで、緯度、標高以外の要因の影響を考慮するため、現行の地域区分を参考に新たなHDD18の推定方法を試みる。現行の地域区分ではHDD18の気候分布に基づき、区分の最小単位を市区町村と細分化することで、一つの地域内の気候の差異を小さくする工夫がなされている。また、前節より標高の影響が除かれたHDD18_{0m}では近隣地域間の変化、つまり気候の差異が小さいことが分かっている。これらを踏まえて、本報ではHDD18の推定を次のイ、ロの手順で行う。HDD18_{0m}を用いてまとめることで、気候の差異の小さい地域がHDD18を用いる場合より広くまとめられる。さらに、標高の影響が除かれたHDD18_{0m}を基準として、後から標高による影響を考慮することで、近隣地域間の大きな標高差から生じる気候的差異に対応した気候状態の判断材料とすることができる。

イ. HDD18_{0m}を一定の地域範囲でまとめる。

ロ. イに対して任意地点の標高により増加するHDD18を加える。

4-1. HDD18_{0m}の区分

HDD18_{0m}は日本全国一定ではないので、同じ気候状態の地域をまとめる必要がある。現行の地域区分で区分の適用単位を市区町村としているのは、区分する際に用いるHDD18の近隣地域間の差が大きいからである。HDD18_{0m}は日本全国一定ではないものの、HDD18の分布と比較して近隣地域間の差が小さい。よって、HDD18_{0m}の区分は市区町村より広い範囲とすることが可能である。イ、ロの手順によりHDD18を推定するにあたって、基準となるHDD18_{0m}をまとめる地域範囲を広くすることは推定の簡便化を図ることができる。しかし、一方でまとめた一つの地域内の気候的差異が大きくなるため、推定精度の低下に注意が必要である。HDD18_{0m}をまとめる地域範囲として都道府県単位を用いた場合、長野県のように南北に長い県でHDD18_{0m}に大きな差が見られた。

長野県はアメダス地点間の緯度に最大で約1.6°（距離にして約180km）の差があり、緯度による影響が強く現れたと推察される。よって、HDD18_{0m}をまとめる地域範囲としては都道府県より狭い範囲を考える。

一つの候補として各都道府県を2、3の地域に分類した1次細分区域がある。1次細分区域とは、気象庁が気候特性、災害特性および地理特性により日本全国を142ヶ所の天気予報区に分割したものである。図9にHDD18_{0m}の各アメダス地点の値を□、1次細分区域ごとのHDD18_{0m}の平均値(以下、 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ とする。)を●で示す。 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ については式(3)により算出する。図より各アメダス地点の値と平均値のズレは小さく、平均的なズレが110℃・日程度に収まっていることが確認できた。ここで、以下に示す①から④の手順により算出したHDD18(以下、HDD18*とする。)の分布を図10に示す。図6と図10を比較して大きな違いは見られない。これより、HDD18_{0m}をまとめる地域範囲に1次細分区域を用いることとする。

- ①. アメダス地点の海拔0mにおける日平均気温を求める。
- ②. 1次細分区域ごとに①の平均値を求める。
- ③. ②をアメダスの地点標高に高度補正し日平均気温を求める。
- ④. ③を用いてアメダス地点のHDD18を求める。

$$\overline{\text{HDD18}}_{0m} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (18 - T_{0ave}) / p \quad (3)$$

$\overline{\text{HDD18}}_{0m}$: 1次細分区域ごとのHDD18_{0m}の平均値[℃・日]

T_{0ave} : 海拔0mにおける日平均気温の1次細分区域ごとの平均値[℃]

p : 1次細分区域内のアメダス地点数

n : T_{0ave} が18℃以下となる日数[日]

4-2. HDD18_{0m}と標高を用いたHDD18の推定

HDD18の推定には、1次細分区域ごとに算出した $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ に対して標高の影響を加味する必要がある。 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ に対する標高の影響は、気温低下に伴うHDD18の増加として現れる。そこで、 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ に標高に起因したHDD18の増加量(以下、 ΔHDD18 とする。)を加えることで任意地点におけるHDD18の推定を行う。標高と ΔHDD18 の関係については以下に示す二つの特徴が見られたので、この点に留意し推定式を作成する。

1. 高緯度地域になるに従って ΔHDD18 は大きくなる。
2. 高所になるに従って単位標高あたりの ΔHDD18 は大きくなる。

図9 各アメダス地点におけるHDD18_{0m}と1次細分区域ごとのHDD18_{0m}の平均値 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$

図 10 HDD18*の分布

図 11 標高と Δ HDD18の関係

二つの特徴については、図 11 に例示する岩手県内陸と鹿児島県薩摩地方の標高と Δ HDD18 の関係から確認できる。図に示す 2 次の近似曲線は、0m から 1000m まで 1m 間隔で算出した Δ HDD18 に対するものである。その際必要となる各標高における気温については式(4)を用いて算出した。また、図にはこの 2 次の近似曲線の確認のため、観測値より算出した HDD18 と HDD18_{0m} の差から求めた Δ HDD18 を併せてプロットしている。プロットより 2 次の近似曲線の妥当性がうかがえる。

$$T_h = T_0 - 0.006 h \quad (4)$$

T_h : 標高 h m における気温[°C] T_0 : 海拔 0m における気温[°C]
h : 標高[m]

図 11 からの特徴により鹿児島県と比較して高緯度地域の岩手県は Δ HDD18 が大きいことが分かる。標高が 500m の場合、鹿児島県の Δ HDD18 が約 600°C・日であるのに対し、岩手県では約 800°C・日である。さらに、同じ岩手県でも低所の 200m から 300m までの 100m 間の Δ HDD18 は約 160°C・日/100m であるのに対し、高所の 500m から 600m までの 100m 間では約 180°C・日/100m と大きいことが分かる。このため、1 次細分区域ごとに推定式を作成し、 Δ HDD18 を 2 次の近似曲線で求めることとした。HDD18 の推定は、

$\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ に Δ HDD18 を加える式(5)で行う。推定に必要な $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ 、係数 a、b は 1 次細分区域ごとに整理する。一例を表 1 に示す。

$$\text{HDD18}_{\text{est}} = \overline{\text{HDD18}}_{0m} + a h^2 + b h \quad (5)$$

$\text{HDD18}_{\text{est}}$: HDD18 の推定値[°C・日] a: 係数[°C・日/m²] b: 係数[°C・日/m]
 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$: 1 次細分区域ごとの HDD18_{0m} の平均値[°C・日] h: 標高[m]

4-3. HDD18_{est}による地域区分

1 次細分区域ごとに HDD18 の推定式を定めたので、任意地点において 1 次細分区域と標高が得られれば HDD18 の推定は可能である。観測値による HDD18 と式(5)により推定した HDD18_{est} の相関関係を図 12 に示す。図 8 と比較して RMSE が大きく減少しており、重回帰分析による推定より精度が高いことが分かる。このときの RMSE は観測値による HDD18 の平均値の約 5.9% であり、十分な推定精度が確保されている。

地域区分する際には基準となる HDD18_{est} の分割範囲を定めなければならない。本報では現行の地域区分等を参考に HDD18_{est} の分割を 500°C・日間隔で行う。この分割間隔を基準値とし、そのときの標高を表 1 右側部分「HDD18_{est} が下記基準値となるとき標高」に示す。式(5)により HDD18_{est} を計算しなくても、1 次細分区域と標高が分かれば表 1 より地域区分は可能である。

表 1 1 次細分区域別 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ 、a、b と HDD18 の各基準値に必要な標高の一例

都道府県名	1次細分区域名	地点数	$\overline{\text{HDD18}}_{0m}$	a	b	HDD18が下記基準値となるとき標高h(m)										
						500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
北海道	石狩地方	9	3874	0.0002	1.8289								69	331	580	817
岩手県	内陸	20	3078	0.0002	1.6166							253	535	801	1052	1292
東京都	東京地方	7	1805	0.0003	1.3107				145	479	775	1045	1293	1525	1743	1950
神奈川県	西部	1	1693	0.0003	1.3128				223	547	836	1100	1345	1573	1789	1993
富山県	東部	4	2219	0.0003	1.3765					196	511	794	1053	1293	1518	1731
大阪府	大阪府	7	1763	0.0002	1.2725				182	535	857	1156	1435	1698	1948	2186
高知県	中部	5	1629	0.0003	1.2790				273	598	888	1152	1397	1626	1741	2046
福岡県	福岡地方	4	1637	0.0003	1.2544				273	602	895	1163	1409	1640	1857	2063
鹿児島県	薩摩地方	12	1252	0.0003	1.0942			215	589	913	1202	1466	1710	1939	2154	2359
沖縄県	本島北部	4	194	0.0004	0.5628	420	881	1236	1535	1799	2038	2257	2461	2653	2834	3007

(表の見方) 地点数は 1 次細分区域内のアメダス地点の数を示す。 $\overline{\text{HDD18}}_{0m}$ は 1 次細分区域ごとの HDD18_{0m} の平均値を示す。a、b は式(5)における係数を示す。HDD18 が下記基準値となるとき標高 h(m) を用いると、例えば北海道石狩地方において、標高 69m 以上 331m 未満の地域は HDD18_{est} が 4000°C・日から 4500°C・日の範囲の地域と区分することができる。

図 12 HDD18 と式(5)推定による $HDD18_{est}$ の相関

4.4. $HDD18_{est}$ による地域区分の例

図 13 に奈良県生駒市を対象とした $HDD18_{est}$ による地域区分の例を示す。図左が Google Earth¹⁰ による航空写真、図右が緯度経度方向約 1km の格子状で表した模式図である。図中の A、B は表 2 に対応する。生駒市は、標高約 600m の山間部に位置するアメダス地点の気象データに基づいて現行の地域区分が行われており、すべて A に区分される。しかし、都市部は標高約 100m の平野部に位置し、山間部との標高差が約 500m と大きく、気候的差異も大きいことが考えられる。そこで、標高を考慮するため各格子の面平均標高を用い、式(5)で $HDD18_{est}$ を計算し区分した。結果、平野部である都市部は新たに B に区分され、A、B の 2 つの区分となった。これより、 $HDD18_{est}$ による地域区分は、現行の地域区分で対応できない標高差に起因した気候的差異を考慮できることが分かる。

図 13 生駒市を対象とした地域区分例

表 2 生駒市の地域区分

$HDD18[°C・日]$	2000 ~ 2500	2500 ~ 3000
該当する地域	B(標高406m以下)	A

5. 冷房負荷を考慮した地域区分

前節までは現行の地域区分で対象としている暖房負荷に関する新たな地域区分について考察した。住宅の空調熱負荷においては暖房負荷が支配的であるとはいえ、沖縄等の南西諸島あるいは温暖な地域での冷房負荷は無視することができない。このため、省エネルギーを目的とした地域区分にあつては冷房負荷についても考慮する必要がある。そこで、本節では地域区分においてこれまで対象とされていない冷房負荷を考慮した地域区分を考察する。

$HDD18$ 同様に海拔 0m における $CDD22$ (以下、 $CDD22_{0m}$ とする。)を算出し、図 14 に $CDD22_{0m}$ の分布を示す。図より低緯度地域になるに従って緩やかに $CDD22_{0m}$ が増加していることが分かる。また、分布に対する緯度、標高以外の要因による影響もうかがえる。これより、 $CDD22_{0m}$ も $HDD18_{0m}$ 同様に同じ気候状態の地域をまとめる必要がある。 $CDD22_{0m}$ をまとめる地域範囲についても 1 次細分区域とする。ここで、1 次細分区域ごとに求める $CDD22_{0m}$ の平均値を $\overline{CDD22_{0m}}$ とする。

図 14 $CDD22_{0m}$ の分布

$CDD22$ の推定には、1 次細分区域ごとに算出した $\overline{CDD22_{0m}}$ に対して標高の影響を加味する必要がある。 $\overline{CDD22_{0m}}$ に対する標高の影響は、 $\overline{HDD18_{0m}}$ に対するものとは反対で $CDD22$ の減少として現れる。そこで、 $\overline{CDD22_{0m}}$ から標高に起因した $CDD22$ の減少量 (以下、 $\Delta CDD22$ とする。)を差し引くことで任意地点における $CDD22$ の推定を行う。標高と $\Delta CDD22$ の関係についても以下に示す二つの特徴が見られたので、この点に留意し推定式を作成する。

1. 高緯度地域になるに従って $\Delta CDD22$ は小さくなる。
2. 高所になるに従って単位標高あたりの $\Delta CDD22$ は小さくなる。

二つの特徴については、図 15 に例示する岩手県内陸と鹿児島県薩摩地方の二つの 1 次細分区域における標高と $\Delta CDD22$ の関係から確認できる。図に示す 2 次の近似曲線は、0m から 1000m まで 1m 間隔で算出した $\Delta CDD22$ に対するものである。その際必要となる各標高における気温については式(4)を用いて算出した。また、図

図 15 標高と Δ CDD22 の関係

にはこの 2 次の近似曲線の確認のため、観測値より算出した CDD22 と CDD22_{0m} の差から求めた Δ CDD22 を併せてプロットしている。

図 15 から鹿児島県と比較して高緯度地域の岩手県は Δ CDD22 が小さいことが分かる。標高が 500m の場合、岩手県の Δ CDD22 は鹿児島より約 190°C・日小さい。さらに、同じ鹿児島県でも低所の 200m から 300m までの 100m 間の Δ HDD18 は約 54°C・日/100m であるのに対し、高所の 500m から 600m までの 100m 間では約 36°C・

日/100m と小さいことが分かる。このため、CDD22 の推定についても、1 次細分区域ごとに推定式を作成し、 Δ CDD22 を 2 次の近似曲線で求めることとした。CDD22 の推定は、 $\overline{\text{CDD22}}_{0m}$ に Δ CDD22 を加える式(6)で行う。式(6)は標高が高くなることで CDD22 が減少することを表した推定式であり、標高が高くなると CDD22_{est} が負の値となる場合がある。CDD22_{est} が負の値となる場合については、CDD22_{est} を 0°C・日として扱う。

$$\text{CDD22}_{\text{est}} = \overline{\text{CDD22}}_{0m} + c h^2 + d h \quad (6)$$

CDD22_{est} : CDD22 の推定値[°C・日]

ただし、CDD22_{est} が負の値となる場合には 0 として扱う。

$\overline{\text{CDD22}}_{0m}$: 1 次細分区域ごとの CDD22_{0m} の平均値[°C・日]

c : 係数[°C・日/m²] d : 係数[°C・日/m] h : 標高[m]

前節同様に式(6)で算出した CDD22_{est} を用いることで冷房負荷のみを考慮した地域区分も可能である。また、地域区分する際には CDD22_{est} の基準となる分割範囲を定める必要がある。ここでは、暖房負荷と冷房負荷を同等に扱えるように、HDD18_{est} の 500°C・日を基準とし、このときの負荷範囲が同程度となるよう定める。図 1 から HDD18 の 500°C・日に対応する暖房負荷は約 10000MJ であることが分かる。さらに、図 3 からは冷房負荷の約 10000MJ に対応する CDD22 が 250°C・日であることが分かるので、CDD22_{est} の分割は 250°C・日間隔で行う。

6. HDD18_{est} と CDD22_{est} による地域区分

HDD18_{est} と CDD22_{est} を用いたそれぞれの地域区分を前節までに検討した。本節ではこれら二つの推定値の組合せによる地域区分について述べる。前節までに示した HDD18_{est} と CDD22_{est} の分割範

表 3 HDD18 と CDD22 によるアメダス地点数の分布

HDD18 CDD22 [°C・日]	0 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 1500	1500 ~ 2000	2000 ~ 2500	2500 ~ 3000	3000 ~ 3500	3500 ~ 4000	4000 ~ 4500	4500 ~ 5000	5000 ~ 5500	計
0 ~ 250	0	0	2	25	113	105	108	59	67	70	4	553
250 ~ 500	1	3	55	151	54	0	0	0	0	0	0	264
500 ~ 750	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
750 ~ 1000	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
1000 ~ 1250	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
計	23	5	58	176	167	105	108	59	67	70	4	842

図 16 HDD18 と CDD22 による空調熱負荷比率の区分

図を用い、アメダス地点数の分布を表 3 に示す。表 3 より暖房負荷を対象とした HDD18 では同じ地域に区分されていても、冷房負荷を対象とした CDD22 を組合せることで複数の区分される場合があることが分かる。

ここで、表 3 に示す各区分に属するアメダス地点の年間の暖房負荷、冷房負荷を平均し、その合計を各区分の空調熱負荷の平均値として 100000MJ を 1 とした比率で図 16 に示す。暖房負荷、冷房負荷は、「住宅事業建築主の判断基準の住宅モデル」⁷⁾を対象として SMASH⁸⁾を用い計算したものである。図より横に見ると暖房負荷の比率が、縦に見ると冷房負荷の比率がそれぞれ区分されていることが分かる。また、これまで暖房負荷のみを対象としたことで同じ区分とされていた地域に関して、暖房負荷と冷房負荷の比率にいくつかの組合せがあることが確認できる。これより、任意地点の空調熱負荷の傾向に対して適切な省エネルギー対策を講じるためには、暖房負荷と冷房負荷を考慮した HDD18_{est} と CDD22_{est} による地域区分を行うことが望ましいと言える。

7. まとめ

本報では地域区分に関して以下の知見を得た。

- (1) HDD18、CDD22 はそれぞれ暖房負荷、冷房負荷と高い相関があり、地域区分に用いる気候指標として適している。
- (2) HDD18、CDD22 は緯度、標高と密接な関係がある。
- (3) 海拔 0m に高度補正した場合、HDD18_{0m}、CDD22_{0m} は標高による影響が除かれ、近隣地域間の差が小さいことが分かった。
- (4) 1 次細分区域ごとに求めた HDD18_{0m} に $\angle$ HDD18 を加える方法で HDD18_{est} を推定する方法を提案した。任意地点において 1 次細分区域と標高が既知であれば HDD18_{est} が算出でき、地域区分できる。
- (5) 1 次細分区域ごとに求めた CDD22_{0m} から $\angle$ CDD22 を差し引く方法で CDD22_{est} を推定する方法を提案した。任意地点において 1 次細分区域と標高が既知であれば CDD22_{est} が算出でき、地域区分できる。
- (6) 現行の地域区分で同じ地域に区分されている場所であっても、暖冷房負荷の比率が異なる可能性がある。暖冷房負荷の傾向に応じた省エネルギー対策を講じるためには暖房負荷と冷房負荷を考慮した地域区分を行うことが望ましい。

謝辞

研究の遂行にあたり北方建築総合研究所の鈴木大隆博士、東京大学の坂本雄三博士、株式会社 Environmental Planning & Brain の伊藤一哉氏、株式会社砂川建築環境研究所の砂川雅彦氏、鹿児島工業高等専門学校の赤坂裕博士には多大なご助言や資料のご提供をいただきました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

記号表

HDD18	: 暖房度日(D ₁₈₋₁₈) [°C・日]
HDM24	: 暖房デグリ M 値(HDM ₂₄₋₂₄) [°C・日]
CDD22	: 冷房度日(D ₂₂₋₂₂) [°C・日]
CDM24	: 冷房デグリ M 値(CDM ₂₄₋₂₄) [°C・日]
HDD18 _{0m}	: 海拔 0m における HDD18 [°C・日]
HDD18 _{est}	: HDD18 の推定値 [°C・日]
$\overline{\text{HDD18}}_{0m}$	: 1 次細分区域ごとの HDD18 _{0m} の平均値 [°C・日]
$\angle$ HDD18	: HDD18 の増加量 [°C・日]
CDD22 _{0m}	: 海拔 0m における CDD22 [°C・日]
$\overline{\text{CDD22}}_{0m}$	: 1 次細分区域ごとの CDD22 _{0m} の平均値 [°C・日]
$\angle$ CDD22	: CDD22 の減少量 [°C・日]

注

- 注 1) M 値とは気温、水平面全天日射量、絶対湿度の 3 気象要素の日平均値を重み付けして線形結合した単一指標であり、熱負荷相当外気温とも呼ばれる。M 値は以下に示す式によって計算できる。
- $$M = T + H \cdot k_2 + I \cdot k_3$$
- M : M 値 [°C] T : 気温 [°C]
H : 絶対湿度 [g/kg(DA)] I : 水平面全天日射量 [MJ/m²]
k₂ : 係数 [°C・kg(DA)/g] k₃ : 係数 [°C・m²/MJ]
k₂ は絶対湿度に関する係数で日本全国、年間一定値としている。一方、k₃ は日射量に関する係数で日本全国、日ごとに定めた値としている。
- 注 2) 暖房デグリ M 値とは、M 値と設定基準温度との差を暖房期間に渡って積算した値である。
- 注 3) 冷房デグリ M 値とは、M 値と設定基準温度との差を冷房期間に渡って積算した値である。

参考文献

- 1)財団法人建築環境・省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説,pp.31-37,2002
- 2)関口武：日本の気候区分東京教育大学地理学研究報告 N0.3,pp.65-78,1959
- 3)建設省：建設省総合技術開発プロジェクト,省エネルギー住宅システムの開発報告書,1982
- 4)松尾陽,赤坂裕,石野久彌,滝沢博：標準年気象データに関する研究,空気調和・衛生工学,第 48 巻,第 7 号,pp.85-107,1974
- 5)橋口洋,赤坂裕,二宮秀典,曾我和弘：住宅の暖冷房消費エネルギーに基づく日本の地域区分 その 1 暖房デグリ M 値、冷房デグリ M 値の地域差に基づく地域区分,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2,pp.213-214,1996
- 6)赤坂裕,荒井良延,井川憲男,石野久彌,永村悦子,永村一雄,郡公子,曾我和弘,西岡真稔,二宮秀典,松本真一：拡張アメダス気象データ 1981-2000,日本建築学会,2005
- 7)財団法人建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断基準 ガイドブック,2009
- 8)財団法人建築環境・省エネルギー機構：SMASH for Windows Ver.2 住宅用熱負荷計算プログラム ユーザーマニュアル,2000
- 9)小倉義光：一般気象学,東京大学出版会,pp.21-25,1999
- 10)Google Earth,http://earth.google.co.jp (2012 年 1 月 27 日参照)

(2012 年 3 月 9 日原稿受理, 2012 年 8 月 10 日採用決定)