気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測

東京の最近 50 年間よりのオフィス年間冷暖房負荷予測

PREDICTION OF THE NEAR FUTURE ANNUAL COOLING AND HEATING LOADS
BASED ON THE WEATHER INDEXES

Annual cooling and heating loads prediction of the office from past 50 years of Tokyo

磯崎 恭一郎*, 武田 仁**

Kyoichiro ISOZAKI and Hitoshi TAKEDA

The large city is said that heat island advances. The authors made weather indexes such as degree days using weather data in every hour of recent 50 years. Prediction is enabled the near future of the weather indexes. Then, we calculated annual cooling and heating loads of 50 years using LESCOM program every one minute. We demanded the correlation of annual cooling and heating loads and weather indexes and performed cooling and heating load prediction in the near future of the office. In conclusion, the heating loads tend to decrease and cooling loads tend to increase.

Keywords : *weather index, degree days, enthalpy days, humidity days, LESCOM, annual cooling and heating load*

気象指標, デグリーデー, エンタルピーデー, ヒューミディティーデー, レスコム, 年間冷暖房負荷

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書¹⁾等にみられるように大都市はヒートアイランド化が進んでいると言われている。それらの基礎となる長期気象データの整理には赤坂裕, 二宮秀典ら²⁾の拡張アメダス気象データ, 筆者ら³⁾の標準気象データと熱負荷プログラム LESCOM 等がある。また, 長期気象データより, 代表的な 1 年間の気象データ, 標準年気象データの作成法には曾我和弘, 赤坂裕⁴⁾, 稲沼實ら⁵⁾がある。都市のヒートアイランド化の論文には萩島理, 谷本潤ら⁶⁾, 竹林英樹⁷⁾, 飯塚悟, 金原和也ら⁸⁾, 北尾奈々子, 森山正和ら⁹⁾があり, 都市のヒートアイランド化の進捗状況を詳述している。将来気象データ予測に関しては曾我和弘¹⁰⁾, 有馬雄祐, 大岡龍三ら¹¹⁾があり, 曾我¹²⁾は空調負荷への応用をも論じている。今回, 筆者らは最近の約 50 年間の東京の毎時気象データを用いて気象指標を作成し, 近未来の気象指標予測を行った。次いで, 気象指標と年間冷暖房負荷との相関を求め, オフィスの近未来の年間冷暖房負荷予測を行ったので報告する。

2. 各種気象指標の予測

2.1 気象データ

今回用いた気象データは東京の夏季: 1960 年~2009 年 (48 年) (70 年, 71 年日射量欠測), 冬季: 1960 年冬~2008 年冬 (46 年) (69 年冬, 70 年冬日射量欠測), 気象指標は冷暖房負荷に大きく影響す

る気温, 湿度, 日射量の 3 要素を対象とする。

① デグリーデー (Degree days)

毎時気温データより日平均気温を算出し, 暖房デグリーデーは 18℃, 22℃および 24℃の基準温度より低い年間の積算値をいい, Dh18, Dh22 および Dh24 と表示する。同様に冷房デグリーデーは 22℃, 24℃および 26℃の基準温度より高い年間積算値をいい, Dc22, Dc24 および Dc26 と表示する。

② エンタルピーデー (Enthalpy days)

毎時気温データおよび毎時絶対湿度より日平均エンタルピーを算出し, 暖房エンタルピーデーは気温 18℃, 相対湿度約 40% のエンタルピー 30[kJ/kg(DA)]より低い年間の積算エンタルピーを Eh30 と表示する。同様に 20℃, 約 40% のエンタルピー 35[kJ/kg(DA)]を Eh35, 22℃, 約 40% のエンタルピー 40[kJ/kg(DA)]を Eh40 と表示する。冷房エンタルピーデーは同様に気温 22℃, 相対湿度約 65% のエンタルピー 50[kJ/kg(DA)]より高い年間の積算エンタルピーを Ec50, 24℃, 約 60% のエンタルピー 55[kJ/kg(DA)]を Ec55, 26℃, 約 60% のエンタルピーを Ec60 と表示する。

③ ヒューミディティーデー (Humidity days)

毎時絶対湿度より, 日平均絶対湿度を算出する。暖房ヒューミディティーデーは気温 18℃, 相対湿度 50% に相当する絶対湿度 7.124g/kg' より低い年間の積算値を Hh7.1 と略表示する。同様に

* (株)レスコム研究所

** 東京理科大学 名誉教授・工博

LESCOM Institute Co., Ltd.

Prof. Emeritus, Tokyo University of Science, Dr.Eng.

20℃, 50%の絶対湿度 7.626g/kg' を Hh7.6, 22℃, 50%の絶対湿度 8.159g/kg' を Hh8.2 と略表示する。同様に冷房ヒューミディティーターは気温 22℃, 相対湿度 60%に相当する絶対湿度 10.842g/kg' より高い年間の積算値を Hc10.8 と略表示する。同様に 24℃, 60%の絶対湿度 11.360g/kg' を Hc11.4, 26℃, 60%の絶対湿度 12.121g/kg' を Hc12.1 と略表示する。

④ 積算日射量

毎時法線面直達日射量(W/m²)および水平面天空日射量(W/m²)より太陽位置計算を用い水平面全天日射量(W/m²)を算出する。12月～2月の積算値を暖房期積算日射量 Sow(MJ), 7月～9月の積算値を冷房期積算日射量 Sos(MJ)と表示する。

2.2 気象指標の予測式

「高解像度北太平洋海洋モデル(NPOGCM)・SRES A1B シナリオ及びB1 シナリオを用いた1981～2100年の気候予測を一次回帰式によって予測¹³⁾」を参考に、気象指標の予測式は直線および曲線を想定する次の4式とする。

線形式 $y = ax + b$ (1)

指数式 $y = a \cdot \exp(bx)$ (2)

対数式 $y = a \cdot \ln(x) + b$ (3)

2次式 $y = ax^2 + bx + c$ (4)

ただし、y:各種気象指標, a,b,c:予測の係数[-]

2.3 冬季の気象指標予測

デグリーデー, エンタルピーデー, ヒューミディティーター, 暖房期積算日射量を式(1)～(4)を用いた場合の残差分散を図1に示す。各残差分散の最小のものを信頼性が高いと選定する。デグリーデーDh18, エンタルピーデーEh30, ヒューミディティーターHh7.6を選定した。選定した各予測式を表1に示す。選定した各予測式を近未来予測に適用した。暖房デグリーデーを図2, 暖房エンタルピーデーを図3, 暖房ヒューミディティーターを図4, 暖房期積算日射量の近未来予測を図5に示す。暖房デグリーデーは減少傾向にあり減少は年 1.4～8.5 デグリーデー程度である。暖房エンタルピーデーは2次式予測を除き減少傾向にあり減少は年 1.1～7.0 エンタルピーデー程度である。暖房ヒューミディティーターは2次式予測を除き、ほとんど変わらず増加は年 0.04 ヒューミディティーター程度である。暖房期積算日射量は2次式を除き、やや増加の傾向があり増加は年 2.6～45.4MJ 程度である。なお、気象指標予測を2次式による外挿法は、やや極端な傾向がある。

図1 冬季各気象指標の残差分散

表1 選定した各指標(暖房)

Dh18	近似式
線形	$y = -8.6314x + 1825.4$
指数	$y = 1829.6 \exp(-0.005x)$
対数	$y = -120.91 \ln(x) + 1972.0$
2次式	$y = 0.0431x^2 - 10.656x + 1841.6$
Hh 7.6	近似式
線形	$y = 0.0424x + 669.7$
指数	$y = 668.18 \exp(3E-05x)$
対数	$y = 2.7579 \ln(x) + 662.8$
2次式	$y = 0.0323x^2 - 1.4755x + 681.9$

Eh30	近似式
線形	$y = -7.0915x + 2161.0$
指数	$y = 2155.8 \exp(-0.004x)$
対数	$y = -98.27 \ln(x) + 2278.3$
2次式	$y = 0.1276x^2 - 13.088x + 2208.9$
Sow	近似式
線形	$y = 38.901x + 18955.0$
指数	$y = 18881 \exp(0.002x)$
対数	$y = 230.93 \ln(x) + 19202.0$
2次式	$y = 3.1113x^2 - 107.33x + 20125.0$

(表注) x=z-1960 (z は西暦)

図2 暖房デグリーデー (Dh18) の近未来予測

図3 暖房エンタルピーデー (Eh30) の近未来予測

図4 暖房ヒューミディティーター (Hh7.6) の近未来予測

図5 暖房期積算日射量(Sow)の近未来予測

2.4 夏季の気象指標予測

冬期と同様夏季の冷房デグリーデー, 冷房エンタルピーデー, 冷房ヒューミディティーター, 冷房期間積算日射量の残差分散を図6に示す。冷房デグリーデーDc26, 冷房エンタルピーデーEc60, 冷房ヒューミディティーターHc12.1を選定した。選定した各予測式を表2に示す。選定した各予測式による近未来予測を冷房デグリーデーを図7, 冷房エンタルピーデーを図8, 冷房ヒューミディティーターを図9, 冷房期間積算日射量の近未来予測を図10に示す。冷房デグリーデーは増加傾向にある。線形予測では年 1.2, 指数予測では 2.8, 対数予測では 0.16 デグリーデー増加する。冷房エンタルピーデーは2次式予測を除き線形予測では年 1.1, 指数予測では 1.0, 対数予測では 0.5 エンタルピーデー減少する。冷房ヒューミディティーターは2次式予測を除き線形予測では年 2.7, 指数予測で

は 2.8, 対数予測では 0.17 ヒューミディティーデー減少する。冷房期積算日射量は 2 次式予測を除き, 線形予測では年 68.4, 指数予測では 80.3, 対数予測では 6.4MJ 増加する。

図 6 夏季各気象指標の残差分散

表 2 選定した各指標(冷房)

Dc26	近似式	Ec60	近似式
線形	$y = 1.2007x + 66.1$	線形	$y = 1.0611x + 1867.6$
指数	$y = 63.679\exp(0.0125x)$	指数	$y = 1839.1\exp(0.0005x)$
対数	$y = 14.593\ln(x) + 52.8$	対数	$y = -50.82\ln(x) + 2042.6$
2次式	$y = 0.0155x^2 + 0.4418x + 72.5$	2次式	$y = 0.4605x^2 - 21.505x + 2055.7$

Hc12.1	近似式	Sos	近似式
線形	$y = -0.2693x + 313.0$	線形	$y = 67.672x + 27712.0$
指数	$y = 307.83\exp(-1E-03x)$	指数	$y = 27528\exp(0.0023x)$
対数	$y = -15.33\ln(x) + 351.3$	対数	$y = 562.13\ln(x) + 27723.0$
2次式	$y = 0.0706x^2 - 3.7312x + 341.8$	2次式	$y = 3.5617x^2 - 106.85x + 29166.0$

(表注) $x = z - 1960$ (z は西暦)

図 7 冷房デグリーデー (Dc26) の近未来予測

図 8 冷房エンタルピーデー (Ec60) の近未来予測

図 9 冷房ヒューミディティーデー (Hc12.1) の近未来予測

図 10 冷房期積算日射量 (Sos) の近未来予測

3. 最近の気象データに基づく冷暖房負荷

3.1 計算条件

熱負荷計算プログラム(LESCOM-mint)³⁾¹⁴⁾を用いた。細かい時間の空調パターンに対応するため冷暖房負荷計算を 1 分間隔で行った。冷暖房運転パターン(予冷予熱各 30 分)を図 11, 計算対象建物オフィスの平面図を図 12 に示す。なお内部発熱は文献¹⁵⁾を参考に LED の普及, パソコンの使用電力の減少等を考慮し近未来型内部発熱パターン(未来型発熱パターン)を作成し, 従来の内部発熱パターン(従来型発熱パターン)の 2 種類とした。気象データは 1960 年冬~2008 年冬の 46 シーズンの毎時データを 1 分間隔直線補完した。結果を図 13 に示す。

図 11 空調機・外気取入・在室者・照明・機器発熱スケジュール(平日)

冷房設定温度, 湿度: 26℃, 50%, 暖房設定温度, 湿度: 22℃, 50%, 開口部: 単板透明ガラス 8mm+ブラインド(横型 25mm, 明色, 平板反射率 72.76%, スラット角度<夏季>+45° <冬季>-45°)

図 12 計算対象建物オフィス平面図

3.2 計算結果

従来型発熱パターンと未来型発熱パターンによる年間暖房負荷は未来型発熱パターンに比べて約 60%増加し, 逆に年間冷房負荷は未来型パターンの方が約 30%減少する傾向にある。以後, 未来型発熱パターンによる計算結果を記述し年間暖房負荷を暖房負荷, 年間冷房負荷を冷房負荷と略称する。気象データが大きく影響する部位のうち外壁暖房負荷を図 14, 開口部暖房負荷を図 15,16, 外気暖房負荷を図 17 に示す。

図 13 未来型・従来型内部発熱パターンによる年間冷暖房負荷（フロア全体）

同様に、外壁冷房負荷を図 18、開口部冷房負荷を図 19, 20、外気冷房負荷を図 21 に示す。

図 14 外壁暖房負荷

図 18 外壁冷房負荷

図 15 開口部南西ペリメータ暖房負荷

図 19 開口部南西ペリメータ冷房負荷

図 16 開口部フロア全体暖房負荷

図 20 開口部フロア全体冷房負荷

図 17 外気暖房負荷

図 21 外気冷房負荷

4. 近未来年間冷暖房負荷予測

4.1 気象指標による暖房負荷

詳細冷暖房負荷と気象指標との相関を求めた。気象指標は1指標4種類{(Dh18),(Eh30),(Hc7.6),(Sow)}, 2指標6種類{(Dh18,Eh30),(Dh18,Hh7.6),(Dh18,Sow),(Eh30,Hh7.6),(Eh30,Sow),(Hh7.6,Sow)}, 3指標4種類{(Dh18,Eh30,Hh7.6),(Dh18,Hh7.6,Sow),(Dh18,Eh30,Sow),(Eh30,Hh7.6,Sow)}, 4指標1種類{(Dh18,Eh30,Hh7.6,Sow)}とした。

暖房負荷と気象データの相関はフロア全体を表3, 予測式を表4に示す。

表3 暖房負荷（フロア全体）と気象指標との相関

気象指標		単、重相関係数
1指標	Dh18	0.785
	Eh30	0.607
	Hh7.6	0.183
	Sow	0.318
2指標	Dh18、Eh30	0.810
	Dh18、Hh7.6	0.815
	Dh18、Sow	0.828
	Eh30、Hh7.6	0.745
	Eh30、Sow	0.728
3指標	Hh7.6、Sow	0.405
	Dh18、Eh30、Hh7.6	0.816
	Dh18、Hh7.6、Sow	0.843
	Dh18、Eh30、Sow	0.834
4指標	Eh30、Hh7.6、Sow	0.820
	Dh18、Eh30、Hh7.6、Sow	0.845

表4 各気象指標による暖房負荷（フロア全体）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(-35.74 \times Dh18) + 34694.2$
2指標	$(-34.88 \times Dh18) + (1.19 \times Sow) + 9699.7$
3指標	$(-39.04 \times Dh18) + (26.46 \times Hh7.6) + (1.0 \times Sow) + 2500.9$
4指標	$(-30.53 \times Dh18) + (-9.27 \times Eh30) + (41.96 \times Hh7.6) + (1.12 \times Sow) - 5672.4$

部位別暖房負荷のうち外壁の相関係数を表5, 予測式を表6に示す。相関係数はフロア全体より高くなる。開口部の相関係数を表7, 予測式を表8に示す。フロア全体より相関係数が低い。これは変動の激しい透過日射が床等に吸収され蓄熱し暖房負荷にタイムラグが生じ気象相関が低くなったためである。外気負荷の相関係数を表9, 予測式を表10に示す。フロア全体外壁より相関係数が高い。外気負荷は設定温度(22℃)より低い時間が多く瞬時の暖房負荷になるためである。

表5 暖房負荷（4方位外壁集計）と気象指標との相関

指標		単、重相関係数
1指標	Dh18	0.813
	Eh30	0.621
	Hh7.6	0.177
	Sow	0.346
2指標	Dh18、Eh30	0.844
	Dh18、Hh7.6	0.849
	Dh18、Sow	0.863
	Eh30、Hh7.6	0.771
	Eh30、Sow	0.755
3指標	Hh7.6、Sow	0.426
	Dh18、Eh30、Hh7.6	0.849
	Dh18、Hh7.6、Sow	0.880
	Dh18、Eh30、Sow	0.870
4指標	Eh30、Hh7.6、Sow	0.854
	Dh18、Eh30、Hh7.6、Sow	0.882

表6 各気象指標による暖房負荷（4方位外壁集計）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(-3.83 \times Dh18) + 2794.80$
2指標	$(-3.73 \times Dh18) + (0.13 \times Sow) - 38.73$
3指標	$(-4.21 \times Dh18) + (3.03 \times Hh7.6) + (0.11 \times Sow) - 863.47$
4指標	$(-3.37 \times Dh18) + (-0.91 \times Eh30) + (4.55 \times Hh7.6) + (0.12 \times Sow) - 1662.67$

表7 暖房負荷（4方位開口部集計）と気象指標との相関

指標		単、重相関係数
1指標	Dh18	0.530
	Eh30	0.296
	Hh7.6	0.033
	Sow	0.436
2指標	Dh18、Eh30	0.655
	Dh18、Hh7.6	0.623
	Dh18、Sow	0.663
	Eh30、Hh7.6	0.497
	Eh30、Sow	0.563
3指標	Hh7.6、Sow	0.439
	Dh18、Eh30、Hh7.6	0.655
	Dh18、Hh7.6、Sow	0.703
	Dh18、Eh30、Sow	0.705
4指標	Eh30、Hh7.6、Sow	0.654
	Dh18、Eh30、Hh7.6、Sow	0.707

表8 各気象指標による暖房負荷（4方位開口部集計）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(-3.53 \times Dh18) + 3507.35$
2指標	$(-3.34 \times Dh18) + (0.26 \times Sow) - 2042.80$
3指標	$(-6.79 \times Dh18) + (2.92 \times Eh30) + (0.19 \times Sow) - 794.78$
4指標	$(-5.89 \times Dh18) + (1.80 \times Eh30) + (2.71 \times Hh7.6) + (0.20 \times Sow) - 2011.19$

表9 暖房負荷（外気集計）と気象指標との相関

指標		単、重相関係数
1指標	Dh18	0.846
	Eh30	0.707
	Hh7.6	0.280
	Sow	0.291
2指標	Dh18、Eh30	0.852
	Dh18、Hh7.6	0.858
	Dh18、Sow	0.877
	Eh30、Hh7.6	0.811
	Eh30、Sow	0.806
3指標	Hh7.6、Sow	0.450
	Dh18、Eh30、Hh7.6	0.859
	Dh18、Hh7.6、Sow	0.881
	Dh18、Eh30、Sow	0.877
4指標	Eh30、Hh7.6、Sow	0.877
	Dh18、Eh30、Hh7.6、Sow	0.890

表10 各気象指標による暖房負荷（外気集計）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(-37.03 \times Dh18) + 29671.33$
2指標	$(-36.30 \times Dh18) + (1.00 \times Sow) + 8566.80$
3指標	$(-38.47 \times Dh18) + (13.80 \times Hh7.6) + (0.90 \times Sow) + 4812.69$
4指標	$(-22.00 \times Dh18) + (-17.92 \times Eh30) + (43.77 \times Hh7.6) + (1.14 \times Sow) - 10997.10$

フロア全体の暖房負荷予測のうち線形予測を図22, 指数予測を図23, 対数予測を図24, 2次式予測を図25, 各予測式の4指標による予測を図26示す。外壁, 開口部, 外気の各部位の予測を図27,28,29に示す。

図22 線形予測(暖房負荷フロア全体)

図 23 指数予測(暖房負荷フロア全体)

図 24 対数予測(暖房負荷フロア全体)

図 25 2 次式予測(暖房負荷フロア全体)

図 26 4 指標による各式予測(暖房負荷フロア全体)

4 方位外壁集計の各予測式の 4 指標による予測を図 27、同様に 4 方位開口部集計を図 28、外気集計予測を図 29 を示す。

図 27 4 指標による各式予測(4 方位外壁集計暖房負荷)

図 28 4 指標による各式予測(4 方位開口部集計暖房負荷)

図 29 4 指標による各式予測(外気集計暖房負荷)

・暖房負荷の予測精度

気象指標とフロア全体暖房負荷との相関は暖房デグリーデー Dh18、暖房エンタルピーデー Eh30、暖房ヒューミディティデー Hh7.6 および暖房期積算日射量 Sow の 4 気象指標を用いると重相関係数が 0.845 と一番高い。3 気象指標では暖房デグリーデー Dh18、暖房ヒューミディティデー Hh7.6 および暖房期積算日射量 Sow は重相関係数が 0.843 となる。2 気象指標では暖房デグリーデー Dh18、暖房期積算日射量は重相関係数が 0.828 となる。1 気象指標では暖房デグリーデー Dh18 は 0.785 となる。

4.2 暖房負荷自体からの負荷予測

暖房負荷自体からの予測式を表 11、予測を図 30 に示す。

表 11 暖房負荷の予測式

	近似式
線形	$y = -371.28x + 32026$
指数	$y = 32205 \exp(-0.016x)$
対数	$y = -4970 \ln(x) + 37666$
2 次式	$y = -1.8117x^2 - 456.43x + 32707$

$$x = z - 1960$$

図 30 暖房負荷自体からの予測

4.3 気象指標による冷房負荷

詳細冷房負荷と気象指標との相関を求めた。気象指標は暖房指標

と同様、1指標4種類、2指標6種類、3指標4種類、4指標1種類とした。冷房負荷と気象指標の相関はフロア全体を表12、予測式を表13に示す。

表 12 冷房負荷（フロア全体）と気象指標との相関

気象指標		単、重相関係数
1指標	Dc26	0.847
	Ec60	0.866
	Hc12.1	0.717
	Sos	0.645
2指標	Dc26、Ec60	0.919
	Dc26、Sos	0.853
	Dc26、Hc12.1	0.908
	Ec60、Hc12.1	0.883
	Ec60、Sos	0.904
	Hc12.1、Sos	0.857
3指標	Dc26、Ec60、Hc12.1	0.919
	Dc26、Ec60、Sos	0.926
	Dc26、Hc12.1、Sos	0.919
	Ec60、Hc12.1、Sos	0.906
4指標	Dc26、Ec60、Hc12.1、Sos	0.926

表 13 各気象指標による冷房負荷（フロア全体）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(30.10 \times Ec60) + 77966.8$
2指標	$(142.01 \times Dc26) + (18.36 \times Ec60) + 86624.0$
3指標	$(109.46 \times Dc26) + (18.56 \times Ec60) + (0.51 \times Sos) + 74485.9$
4指標	$(115.83 \times Dc26) + (15.45 \times Ec60) + (15.37 \times Hc12.1) + (0.54 \times Sos) + 74197.4$

部位別冷房負荷のうち気象指標と外壁の相関係数を表14、予測式を表15に示す。相関係数はフロア全体より高くなる。開口部の相関係数を表16、予測式を表17に示す。フロア全体より相関係数が低い。理由は暖房負荷と同様であるが冷房負荷は日射の影響を受け易いので暖房負荷ほどの差は生じない。外気負荷の相関係数を表18、予測式を表19に示す。フロア全体より相関係数が低い。外気温が設定温度(26℃)より低い時間が多いためである。

表 14 冷房負荷（4方位外壁集計）と気象指標との相関

指標		単、重相関係数
1指標	Dc26	0.909
	Ec60	0.679
	Hc12.1	0.437
	Sos	0.833
2指標	Dc26、Ec60	0.909
	Dc26、Sos	0.956
	Dc26、Hc12.1	0.910
	Ec60、Hc12.1	0.809
	Ec60、Sos	0.891
	Hc12.1、Sos	0.862
3指標	Dc26、Ec60、Hc12.1	0.917
	Dc26、Ec60、Sos	0.956
	Dc26、Hc12.1、Sos	0.956
	Ec60、Hc12.1、Sos	0.911
4指標	Dc26、Ec60、Hc12.1、Sos	0.957

表 15 各気象指標による冷房負荷（4方位外壁集計）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(15.00 \times Dc26) + 1085.33$
2指標	$(10.50 \times Dc26) + (0.07 \times Sos) - 626.18$
3指標	$(10.08 \times Dc26) + (0.06 \times Ec60) + (0.07 \times Sos) - 707.74$
4指標	$(9.39 \times Dc26) + (0.40 \times Ec60) + (-1.66 \times Hc12.1) + (0.07 \times Sos) - 676.55$

表 16 冷房負荷（4方位開口部集計）と気象指標との相関

指標		単、重相関係数
1指標	Dc26	0.791
	Ec60	0.487
	Hc12.1	0.273
	Sos	0.792
2指標	Dc26、Ec60	0.804
	Dc26、Sos	0.864
	Dc26、Hc12.1	0.806
	Ec60、Hc12.1	0.638
	Ec60、Sos	0.801
	Hc12.1、Sos	0.794
3指標	Dc26、Ec60、Hc12.1	0.806
	Dc26、Ec60、Sos	0.874
	Dc26、Hc12.1、Sos	0.871
	Ec60、Hc12.1、Sos	0.811
4指標	Dc26、Ec60、Hc12.1、Sos	0.874

表 17 各気象指標による冷房負荷（4方位開口部集計）予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(75.58 \times Dc26) + 14196.45$
2指標	$(44.92 \times Dc26) + (0.50 \times Sos) + 2531.58$
3指標	$(59.13 \times Dc26) + (-2.09 \times Ec60) + (0.49 \times Sos) + 5329.77$
4指標	$(60.55 \times Dc26) + (-2.78 \times Ec60) + (3.42 \times Hc12.1) + (0.50 \times Sos) + 5265.57$

表 18 冷房負荷（外気集計）と気象指標との相関

指標		単、重相関係数
1指標	Dc26	0.312
	Ec60	0.713
	Hc12.1	0.777
	Sos	0.124
2指標	Dc26、Ec60	0.781
	Dc26、Sos	0.334
	Dc26、Hc12.1	0.784
	Ec60、Hc12.1	0.777
	Ec60、Sos	0.757
	Hc12.1、Sos	0.782
3指標	Dc26、Ec60、Hc12.1	0.796
	Dc26、Ec60、Sos	0.787
	Dc26、Hc12.1、Sos	0.784
	Ec60、Hc12.1、Sos	0.786
4指標	Dc26、Ec60、Hc12.1、Sos	0.799

表 19 各気象指標による冷房負荷(外気集計) 予測式

指標数	負荷予測式 単位: MJ
1指標	$(87.09 \times Hc12.1) - 30762.92$
2指標	$(89.87 \times Hc12.1) + (-0.18 \times Sos) - 26447.00$
3指標	$(-54.82 \times Dc26) + (10.34 \times Ec60) + (51.16 \times Hc12.1) - 34101.60$
4指標	$(-47.27 \times Dc26) + (11.24 \times Ec60) + (46.44 \times Hc12.1) + (-0.16 \times Sos) - 30468.18$

フロア全体の冷房負荷予測のうち線形予測を図31、指数予測を図32、対数予測を図33、2次式予測を図34、各予測式の4指標による予測を図35示す。

図 31 線形予測(冷房負荷フロア全体)

図 32 指数予測(冷房負荷フロア全体)

図 33 対数予測(冷房負荷フロア全体)

図 34 2 次式予測(冷房負荷フロア全体)

図 35 4 指標による各式予測(冷房負荷フロア全体)

4 方位外壁集計の各予測式の 4 指標による予測を図 36、同様に 4 方位開口部集計を図 37、外気集計予測を図 38 示す。

図 36 4 指標による各式予測(4 方位外壁集計冷房負荷)

図 37 4 指標による各式予測(4 方位集計開口部冷房負荷)

図 38 4 指標による各式予測(外気集計冷房負荷)

・冷房負荷の予測精度

気象指標とフロア全体の冷房負荷との相関は、4 気象指標では冷房デグリーデーDc26, 冷房エンタルピーデーEc60, 冷房ヒューミディティーデーHc12.1 および冷房期間積算日射量Sos で重相関係数 0.926 と高い。3 気象指標では冷房デグリーデーDc26, 冷房エンタルピーデーEc60, 冷房期間積算日射量Sos の重相関係数 0.926 で 4 気象指標と同等である。2 気象指標では冷房デグリーデーDc26, 冷房エンタルピーデーEc60 の重相関係数 0.919 となる。1 気象指標では冷房エンタルピーデーEc60 の相関係数 0.866 となる。

4.4 冷房負荷自体からの負荷予測

冷房負荷自体からの予測式を表 20、予測を図 39 に示す。

表 20 冷房負荷の予測式

	近似式
線形	$y = 292.29x + 127798$
指数	$y = 127548 \exp(0.0021x)$
対数	$y = 2339.7 \ln(x) + 128102$
2 次式	$y = 13.224x^2 - 355.66x + 133198$

$x = z - 1960$

図 39 冷房負荷自体からの予測

5. まとめ

(1) 気象指標の近未来予測

年間冷暖房負荷を予測する気象指標は次の結果を得た。

・冬季の場合

残差分散による評価では気温は暖房デグリーデーDh18, 気温および湿度は暖房エンタルピーデーEh30, 湿度は暖房ヒューミディティーデーHh7.6 を選定した。これらの気象指標を用いた近未来予測が良い。いずれの気象指標も近未来は減少傾向にある。

・夏季の場合

冬季と同様、気温は冷房デグリーデーDc26, 気温および湿度は

冷房エンタルピーデ－Ec60, 湿度は冷房ヒューミディティ－Hc12.1 を選定した。これらの気象指標を用いるのが良い。Dc26 および Ec60 の近未来は増加傾向にあり Hc12.1 は減少傾向にある。

(2) 冷暖房負荷の未来予測

選定した気象指標と約 50 年間詳細冷暖房負荷との相関を求め相関の高いものより次の結果を得た。また負荷自体からも予測を行った。

・ 暖房負荷の近未来予測

気象指標による予測

フロア全体の近未来暖房予測には 4 指標

(Dh18, Eh30, Hc7.6, Sow), 次いで 3 指標 (Dh18, Hc7.6, Sow) による予測が良い。内部発熱を従来より少ない近未来型発熱型パターンの場合, 近未来の暖房負荷は減る傾向にある。年約 56.9～370.9MJ 減少する。2008 年比, 年率 0.3～2.5%減少すると予測される。

部位別暖房負荷のうち外壁負荷は年率 0.2～1.5%減少, 開口部負荷は年率 0.9～2.4%減少, 外気負荷は年率 0.01～0.03%減少すると予測される。

負荷自体から予測

負荷自体から予測した場合, 年約 57～368MJ 減少する。2008 年比, 年率 0.3～2.1%減少する。

・ 冷房負荷の近未来予測

気象指標との相関による予測

フロア全体の近未来冷房予測には 4 指標 (Dc26, Ec60, Hc12.1, Sps) または 3 指標 (Dc26, Ec60, Sps) による予測が良い。近未来の冷房負荷は増加する傾向にある。年約 11.1～386.5MJ 増加する。2009 年比, 年率約 0.01 増加すると予測される。

部位別冷房負荷のうち外壁負荷は 0.4～0.8%増加, 開口部負荷は年率 0.05～0.08%増加, 外気負荷は年率 0.2～0.6%減少すると予測される。

負荷自体から予測

負荷自体から予測した場合, 年約 26～326MJ 増加する。2009 年比, 年率約 0.02～0.25%増加する。

気象指標との相関による予測と負荷自体からの予測は冷暖房とも同様の結果となった。負荷自体からの予測も有効な手法である。

参考文献

- 1) IPCC : CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers, 2014
- 2) 赤坂裕, 二宮秀典他 6 名 : 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2000
- 3) 武田仁, 稲沼寛, 吉澤望, 磯崎恭一郎 : 標準気象データと熱負荷計算プログラム LESCOM, 井上書院, 2005.3
- 4) 曾我和弘, 赤坂裕 : 標準気象データ作成法に関する研究 EA 法と SHASE 法の比較, 日本建築学会環境系論文集, No. 581, pp. 21-28, 2004.7
- 5) 稲沼寛, 吉村孝彦, 武田仁, 浅田秀男 : 長期観測データに基づく昼光照明基準の天空輝度分布を含む標準気象データに関する実証的研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 576, pp. 43-48, 2004.2
- 6) 萩島理, 谷本潤, 浅野文宏 : 改良建築一都市一土壌連成系モデル (AUSSSM) による都市高温化の構造解析 第 3 報 気象条件による都市高温化要因の違い, 日本建築学会環境系論文集, No. 601, pp. 43-50, 2006.3

- 7) 竹林英樹 : 上空気象データを用いたヒートアイランド対策技術導入効果の簡易評価方法の検討, 日本建築学会環境系論文集, No. 621, pp. 57-62, 2007.11
- 8) 飯塚悟, 金原和矢他 3 名 : 夏季の名古屋の温熱環境を対象とした現状再現の制度検証と疑似温暖化手法を併用した将来予測の試み 領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション, その 1, 日本建築学会環境系論文集, No. 647, pp. 87-93, 2010.1
- 9) 北尾奈々子, 森山正和他 2 名 : メソ気象モデル WRF を用いた大阪地域のヒートアイランド現象に関する研究 潜在的自然植生の概念を用いた都市化の影響評価, 日本建築学会環境系論文集, No. 651, pp. 465-471, 2010.5
- 10) 曾我和弘 : 地球温暖化予測情報を用いた将来気象データの開発 気象変動に適応可能な建築・設備の計画支援と目的とする将来気象データに関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 703, pp. 803-812, 2014.9
- 11) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹 : 夏季の関東地方を対象とした近未来標準気象データの試作と気候変動の建築熱負荷への影響評価力学的ダウンスケーリングによる建築熱負荷計算のための近未来気象データの作成, その 1, 日本建築学会環境系論文集, No. 710, pp. 371-379, 2015.4
- 12) 曾我和弘 : 地球温暖化予測情報第 6 巻に基づく標準年将来気象データの空調熱負荷への応用, 日本建築学会技術報告集 第 21 巻 第 47 号 pp. 177-182, 2015.2
- 13) 気象庁 : 地球温暖化予測情報第 7 巻, 2008.3
- 14) 武田仁 : 潜熱蓄熱材 (PCM) の建物暖房への適用一潜熱蓄熱材壁で構成されたスペースの室温変動解析一, 日本建築学会環境系論文集, No. 718, pp. 1115-1123, 2015.12
- 15) 藤川慈久, 尹奎英 : OA 機器更新に伴う内部発熱減少の実証と空調熱負荷の変動, 日本建築学会技術報告集 第 21 巻 第 47 号 pp. 193-198, 2015.2

PREDICTION OF THE NEAR FUTURE ANNUAL COOLING AND HEATING LOADS BASED ON THE WEATHER INDEXES

Annual cooling and heating loads prediction of the office from past 50 years of Tokyo

Kyoichiro ISOZAKI and Hitoshi TAKEDA***

* LESCOM Institute Co., Ltd.

** Prof. Emeritus, Tokyo University of Science, Dr.Eng.

The large city is said that heat island advances. The authors made weather indexes using weather data in every hour of Tokyo of recent approximately 50 years.

The near future prediction of the winter weather indexes are for the temperature, the heating degree day Dh18, for the temperature and the humidity, the heating enthalpy day Eh30, for the humidity, the heating humidity day Hh7.6 chose by the evaluation by the residual error dispersion. The prediction is good in the near future using these weather indexes. Every weather indexes decrease in the near future.

Like the winter season, near future prediction of the summer weather indexes, as for the temperature, the cooling degree day Dc26, as for the temperature and the humidity, the cooling enthalpy day Ec60, as for the humidity, the cooling humidity day Hc12.1. There is the near future of Dc26 and Ec60 in a tendency to increase and Hc12.1 decrease. The weather index to predict annual cooling and heating loads should use these weather figures.

Then, we calculated annual cooling and heating loads of 50 years using LESCOM program every one minute.

• Near future prediction of heating loads

The prediction by four weather indexes (Dh18, Eh30, Hc7.6, winter season accumulated solar radiation Sow), followed by 3 indexes (Dh18, Hc7.6, Sow) is good for the near future prediction of the heating loads. The heating loads tend to decrease. About 56.9 – 370.9MJ decrease per a year. It is predicted that an annual rate of 0.3-2.5% decrease in 2008. Prediction by heating loads itself about 57~368MJ decrease per a year and an annual rate of approximately 0.3~2.1% decrease in 2008.

• Near future prediction of cooling loads

The near future prediction of the cooling loads have good prediction by 4 indexes (Dc26, Ec60, Hc12.1, summer season accumulated solar radiation Sos) or 3 indexes (Dc26, Ec60, Sos). The cooling loads of the near future tend to increase. About 11.1 – 386.5MJ increase per a year. It is predicted that an annual rate of approximately 0.01% increase in 2009. Prediction by cooling loads itself about 26~326MJ increase per a year and an annual rate of approximately 0.02~0.25% increase in 2009.

(2016年1月8日原稿受理, 2016年5月11日採用決定)