

都市における熱的環境に関する研究 (その2)

—東京における熱的環境調査—

岡 建 雄

Research on Thermal Environments in Urban Areas (Part 2)

—Survey of Thermal Environments in Tokyo—

Tatsuo Oka

Abstract

In the Tokyo district, there are 14 observatories distributed evenly to make hourly meteorological observations. By recording these meteorological data on magnetic tapes at intervals of one hour throughout the year and analyzing them, it is thought possible to grasp positive thermal environments in urban areas. This paper consists of outlines of thermal environments in the Tokyo district, analyses of correlations between various meteorological factors and temperature and humidity distributions, analyses of correlations between areas of thermal environments and preparation of widearea thermal environment distribution maps. This was to grasp the thermal environments of municipal activities and their discharge systems, and the studies were made as a part of the theme which is to find the basic direction for future heat utilization from a long-range view.

概 要

東京では14カ所の観測所で毎時の気象観測を行っている。これらのデータを1年間磁気テープに収録し、解析することによって都市空間における実証的な熱的環境を把握することができると思われる。本報告の骨子は東京における熱環境の概要、気象要素と温湿度分布との相関、熱環境の地域相関および広域熱環境分布図の作成から成っている。これは都市活動とその廃棄系としての熱環境を把握し、長期的視野に立った今後の熱利用の基本的方向性を見出そうとするテーマの一環として行われたものである。

1. まえがき

都市空間におけるヒートアイランド現象は古くから観測されており、近年に至り大気汚染等を含む都市気候学の中心的課題として研究されているが、多くは都市における特異現象として扱われているのが現状である。都市の廃棄系として熱環境をとらえる場合、不確定要素が多くかつ微量であるために長時間にわたる多量のデータを巨視的に把握し、一般性をもたせる必要がある。

都市において第1次破壊系（地表面の変革）、第2次破壊系（得られた資源の利用）の熱的影響は最終的に大気の温湿度等に現われてくるが、これらを測定することにより廃棄系を最も直接的に知ることができる。現在東京には14カ所の観測所で大気の温度、湿度、風

向、風速を記録しており、観測所の配置もほぼ東京全土にわたっているので、これらのデータを解析することにより、実証的な都市空間の熱環境を把握できると思われる。（図2—1）

使用データは1972年4月から翌3月のものであり、データ解析の方法としては、若干の欠測が見出されたので補間により補うと共にすべて磁気テープに収録し、処理したものである。

—記号—

a_1, a_2, a_3 : 平均温度算出のためのパラメータ a, b : 分布図算出のためのパラメータ C_v : 大気安定度に関するパラメータ J_q : 可能蒸発散量 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)
 l_i, j : i, j 間の距離 (m) R_M : 分布図算出のためのパラメータ R_{nd} : 純放射量 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) U_n : 風速 (m/s) T_M : 観測温度 ($^{\circ}\text{C}$) σ_T : 温度標準偏差 σ_{Td}

：温度標準偏差の日平均値 σ_s ：絶対湿度標準偏差
 σ_{sd} ：絶対湿度標準偏差の日平均値 σ_o ：観測データの標準偏差 σ_e ：計算値の標準偏差 T_a ：地域平均温度(°C) T_r ：推定精度 T_{ra} ：全域の平均推定精度

2. 東京における熱的環境の概要

熱的環境は例えば庭先と道路上の気温が異なるといった微細気候からグローバルな大気候まで考えられるが、都市の廃棄系としてとらえる場合、数kmから数十kmまでのいわゆる小気候を対象とした規模になるであろう。小気候での熱的環境の明快な把握が困難である理由として、微細気候と大気候の影響が混在し、かつそのスケールがほぼ等しいためであるといわれており、広域にわたる長時間のデータを用いた解析が必要と思われる。i 地点における温度変位を次式で表す。

$$\Delta T_{Mi} = T_{Mi} - \frac{\sum_{j=1}^{14} T_{Mj}}{14} \dots\dots\dots (2-1)$$

図2-2に温度、絶対湿度、エンタルピの変位を14地点の合計値としてヒストグラムで示す。これは東京全域の平均的な分布状態を示すと考えられ、分布型は正

規分布を示している。温度変位は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内、絶対湿度、エンタルピは $\pm 2(\text{g}/\text{kg}$ または $\text{kcal}/\text{kg})$ 以内に含まれ、これが東京における熱的環境の最大変位と考えられる。

図2-3は14地点の温度、絶対湿度を順位で表現したものであり、最も高温である場合には14点、2番目は13点というように点数をつけてヒストグラムで表わしたものである。これによると都心部に位置する都庁前(A)、国設(B)、渋谷(F)、池袋(N)では低温である場合と高温である場合の2カ所に山がある。これは都市部に形成されるヒートアイランドを表わしており、月別の変化を見ると冬季に集中していることがわかる。年間を通して都心部に位置する地域は常に高温であるとは限らないが、それ以外の地域とは異なる特性をもち、都市個有の変動を示していると考えられよう。立川(K)、町田(L)は他に比べ、都市型の気候に近いといえようし、城東(C)、板橋(G)等都心部周辺地域は常に高温である。一方、絶対湿度は夏季、冬季の絶対量の差が大きいの一括してとらえることは難しいが、一般に温度との相関が高いといえよう。

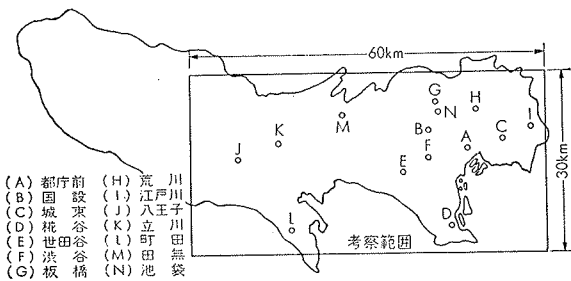


図2-1 東京の気象データ観測地点

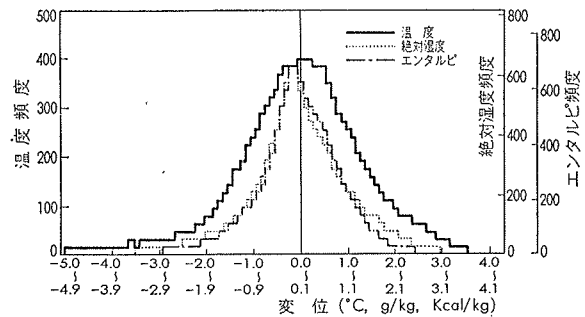


図2-2 14地点の年間合計ヒストグラム

(1972・4・1~1973・3・31データ単位：1時間)

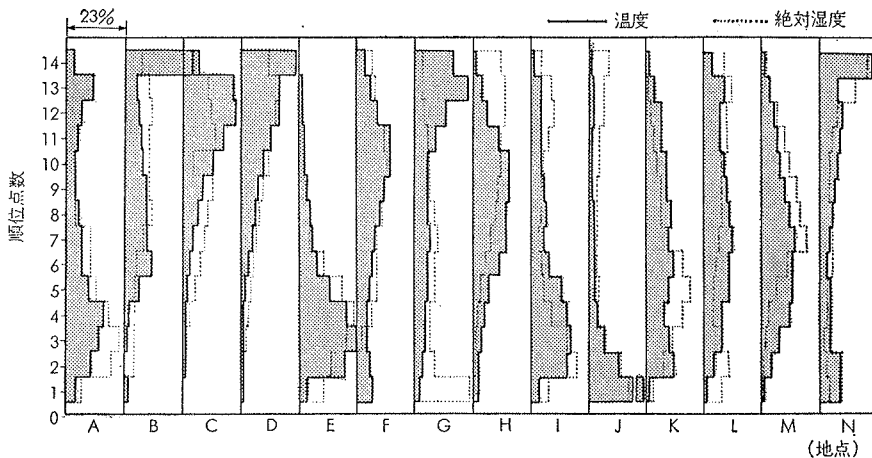


図2-3 温度、絶対湿度の順位ヒストグラム (1972・4・1~1973・3・31データ単位：1時間)

3. 熱的環境と気象との相関

東京における熱的環境を一括してとらえるために各観測所におけるデータの標準偏差を用いた解析を行った。温度標準偏差 σ_T は次式で示される。

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{14} \Delta T_{MJ}}{13}} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

ヒートアイランド現象等局所高(低)湿地帯の発生は σ_T に対する影響が少ないので、 σ_T は東京全域の広域熱的環境を把握する指標と考えられる。

図2-4に σ_T , σ_S の月変化を示す。すなわち地表面からの蒸発散量の少ない冬季においては σ_T も σ_S も低い値に集中しており、熱的環境は全域にわたり均一であることが多いが、気象要素の影響が強い夏季においては蒸発散量も多く、地表面状態による熱的環境の相違が大きく現われると考えられる。

地表面からの蒸発散熱量の指標として次の Penman の式による可能蒸発散熱量 J_q を用いる。

$$J_q = \frac{R_{nd} \cdot \Delta + G_w \cdot \gamma J_a}{\Delta + G_w} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

但し $J_a = 0.35 (1 + 0.537 U_n) (e_{sa} - e_a)$

Δ …外気温における飽和水蒸気曲線の勾配 (mmHg/°C)

G_w …乾温計定数

e_{sa} …外気温における飽和水蒸気圧 (mmHg)

e_a …外気水蒸気圧 (mmHg)

γ …蒸発潜熱 (Kcal/kg)

図2-5, 6は σ_{sd} , σ_{Td} と J_q の相関を示したもので、各季節ごとに回帰式と相関係数を示す。但し σ'_{sd} , σ'_{Td} は大気安定度、風速により修正したものである。実蒸発散量は可能蒸発散量に蒸発比を乗じたものであるが、図2-5で蒸発比を示すと考えられる直線勾配は7~9月, 4~6月, 10~12月, 1~3月の順で小さくなっている。顕熱量は蒸発散量に比べ、対流、輻射、伝熱等複雑な熱的性質があるので、図2-6の直線勾配は必ずしも蒸発比を示すとはいえないが、 σ'_{sd} に比べ σ'_{Td} と J_q の相関は一層強いものになっている。このように1次元拡散を想定した単純化されたモデルにおいても絶対湿度分布や温度分布と J_q が0.72~0.75の相関係数で直線的にとらえられるということは、広域的にみて、地表面の熱平衡の結果がそのまま湿度分布、温度分布の形成に主要な影響を与えており、第1次破壊系の影響が強いと考えられる。

4. 熱的環境の地域相関

各観測所における熱的特性は平均値あるいはヒストグラム等を用いてその概要を把握することができるが、相関係数を用いた解析を行うことにより、各地点間の熱的特性を比較することができる。すなわち温度や絶対湿度が一体となって変動する地域を見出そうとするもので、月平均値等を用いた場合より一層動的な特性を把握することができる。

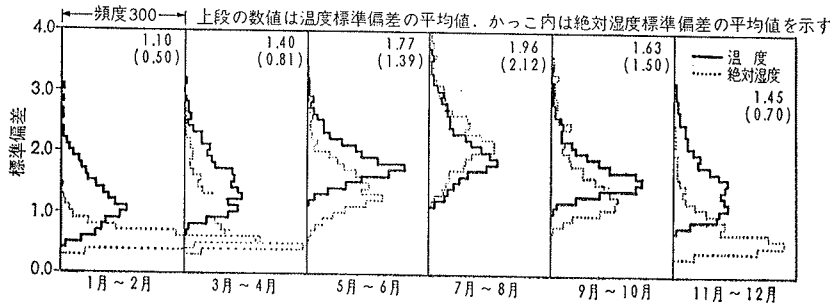


図2-4 温度標準偏差, 絶対湿度標準偏差の日変化ヒストグラム
(1972・4・1~1973・3・31 データ単位: 1日)

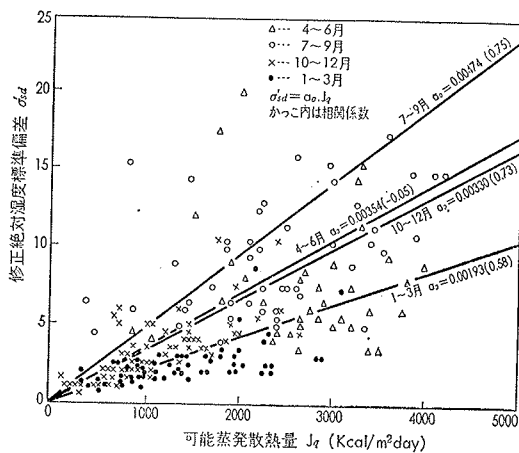


図2-5 絶対湿度標準偏差と可能蒸発散量
(1972・4・1~1973・3・31データ単位: 1日)

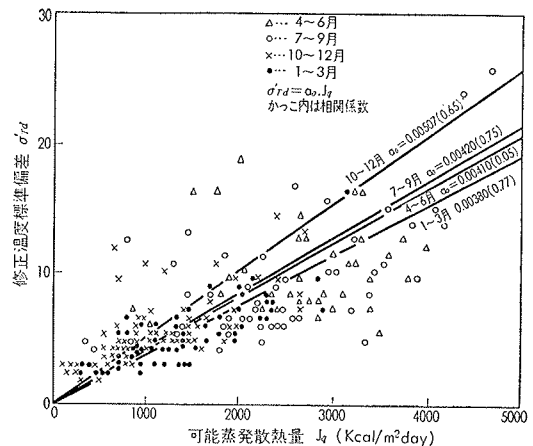


図2-6 温度標準偏差と可能蒸発散量
(1972・4・1~1973・3・31データ単位: 1日)

各観測点におけるデータは日平均値に直し、14地点の平均値からの変位として扱い、風速および大気安定度を用いて修正したものである。表2-1に年間の温度、絶対湿度の相関図を示す。温度が一体となって変動する地域を見出すと、都庁前(A)、世田谷(E)、江戸川(I)、八王子(J)等緑地の影響を受けていると思われる地域と城東(C)、糞谷(D)、渋谷(F)、板橋(G)、荒川(H)等の都心部周辺地域および立川(K)、町田(L)、田無(M)等郊外地域に大別される。又国設(B)は都庁前(A)と最も相関が強く、池袋(N)は他の地域とは異なる特性を示している。一方、都庁前(A)、世田谷(E)、江戸川(I)、八王子(J)の各地域は糞谷(D)、板橋(G)等都心部周辺地域と逆の熱的特性を示している。絶対湿度に関しても同様の特性を示しているが、郊外の各地点間の相関は薄い。

相関図から東京は都心部、都心部周辺地域、郊外地域に大別され、熱的特性としては郊外地域は都心部周辺地域に比較的近く、都心部に位置する都庁前(A)、国設(B)、渋谷(F)、池袋(N)は各々独立に変動しているといえよう。

5. 広域熱的環境の分布図

十数点の観測地点のデータからその地域の温度分布を推定する方法は大別して目視による方法と重回帰分析を用いる方法がある。本調査において種々の推定方法を用いて考察したが、良好な結果を得ることができなかったため、以下に述べる確率分布モデルを用いて温度分布図、湿度分布図を作成した。この推定方法は観測点の多少に関係なく用いることができ、もともとられた分布図の推定精度を検討できる利点をもっている。

	← 温度 →													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
A	1.00	0.59	-0.57	-0.40	0.58	-0.61	-0.67	-0.55	0.56	0.50	-0.67	-0.18	-0.58	0.01
B	-0.39	1.00	-0.47	-0.32	0.25	-0.53	-0.47	-0.44	0.31	0.28	-0.44	-0.18	-0.48	0.06
C	-0.34	0.42	1.00	0.51	-0.63	0.63	0.78	0.59	-0.53	-0.76	0.38	-0.04	0.31	0.04
D	-0.63	0.48	0.79	1.00	-0.34	0.55	0.30	0.40	-0.30	-0.47	0.35	0.29	0.39	-0.43
E	0.53	-0.33	-0.21	-0.29	1.00	-0.46	-0.69	-0.52	0.65	0.70	-0.47	-0.05	-0.35	-0.32
F	-0.55	0.20	0.43	0.50	-0.33	1.00	0.72	0.54	-0.59	-0.74	0.54	0.16	0.62	-0.21
G	-0.38	0.12	0.35	0.35	-0.08	0.29	1.00	0.60	-0.78	-0.83	0.48	-0.15	0.46	0.23
H	-0.63	0.40	0.74	0.77	-0.29	0.50	0.35	1.00	-0.47	-0.58	0.27	0.03	0.31	-0.07
I	0.75	-0.49	-0.68	-0.82	0.38	-0.71	-0.53	-0.72	1.00	0.69	-0.51	-0.03	-0.50	-0.29
J	0.54	-0.41	-0.79	-0.78	0.29	-0.62	-0.47	-0.77	0.77	1.00	-0.46	-0.03	-0.51	-0.19
K	0.29	-0.45	-0.66	-0.53	0.26	-0.35	-0.25	-0.51	0.47	0.46	1.00	0.39	0.81	-0.26
L	-0.48	-0.09	-0.20	0.04	-0.36	0.12	0.01	0.04	-0.17	-0.05	0.23	1.00	0.46	-0.54
M	-0.49	0.09	0.43	0.60	-0.06	0.44	0.34	0.57	-0.67	-0.66	0.04	0.15	1.00	-0.31
N	0.13	0.13	0.20	0.03	-0.14	-0.05	-0.22	0.01	0.04	-0.22	-0.37	-0.51	-0.12	1.00

← 絶対湿度 →

表2-1 温度、絶対湿度の地域相関 (1972・4・1~1973・3・31 データ単位: 1日)

5.1. 基礎理論

地域の平均温度に対する観測点の温度変位 ΔT が得られた場合、観測点に充分近い地点であれば、その地点の温度変位は ΔT であろうし、充分離れた地点の温度変位を推測する場合には確率的に考えて、その地域の平均温度とするのが一般的である。従ってある観測点の温度変位 ΔT_M を用いて、他の地点の温度変位 ΔT_P を推定する場合、観測点からの距離 l およびパラメータ R_M を用いて ΔT_P は次式で表現できると仮定する。

$$\Delta T_P = R_M / (a l^b + 1) \dots\dots\dots (2-4)$$

この確率分布モデルを用いて、 n 地点からの観測温度をもとに地域温度分布を推定する場合、各観測地点での温度変位 ΔT_{Mi} は n 地点の合成と考えれば次式が導かれる。

$$\Delta T_{Mi} = \sum_{j=1}^n R_{Mj} / (a l_{ij}^b + 1) \dots\dots\dots (2-5)$$

パラメータ a, b は各観測温度を等価と考えて共通とすれば、 R_M は次の n 元連立方程式を解けば求まる。

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{a l_{11}^b + 1} & \frac{1}{a l_{12}^b + 1} & \dots & \frac{1}{a l_{1n}^b + 1} \\ \frac{1}{a l_{21}^b + 1} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a l_{n1}^b + 1} & \dots & \dots & \frac{1}{a l_{nn}^b + 1} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R_{M1} \\ R_{M2} \\ \dots \\ R_{Mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta T_{M1} \\ \Delta T_{M2} \\ \dots \\ \Delta T_{Mn} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2-6)$$

距離 l に掛かるパラメータ a, b を決定するには種々の方法が考えられるが、ここでは分布図の推定精度、観測データおよび計算された分布図の標準偏差を用いて反復収束計算によりもつめた。

5.2. 計算結果とその考察

8月2日~15日および1月2日~15日の各時刻の平均値を夏季および冬季の代表気候と考え、6時、12時、18時、24時における東京の温湿度分布図を作成した。

図2-7に夏季の温湿度分布の日変化を示すが、風速が比較的強く、温湿度分布共に日変化は少ない。都心部は周囲が高湿であるにもかかわらず低温であり、高温域は東京湾から工場地帯の城東(C)、荒川(H)、板橋(G)および渋谷(F)を中心に形成されている。

図2-8に冬季の温湿度分布図を示すが、風速が比較的弱く、夜間輻射量が多い等最もヒートアイランドが形成されやすい気象条件である。分布型としては日変化は少ないが、明らかに国設(B)、池袋(N)を中心とした強

いヒートアイランド現象が見出される。都庁前(A)は高温であるが、ヒートアイランドの中心ではない。冬季は蒸発散量が著しく低下しており、温度の標準偏差も夏季の2分の1以下である。夜間輻射量は夏季の2倍近くに増大しており、相対的にみれば地表面の輻射熱交換および第2次破壊系の影響が著しく増大していると考えられ、夏季とは異なる熱的構成によりヒートアイランドが形成されると考えられる。

参考文献

- 1) 気象力学：正野重方
- 2) 都市気候学：大後美保，長尾隆
- 3) 通産省産業エコロジー熱グループ資料
- 4) Man's Impact on Environment (McGraw-Hill)
- 5) Dynamic Hydrology, Eagleson (McGraw-Hill)

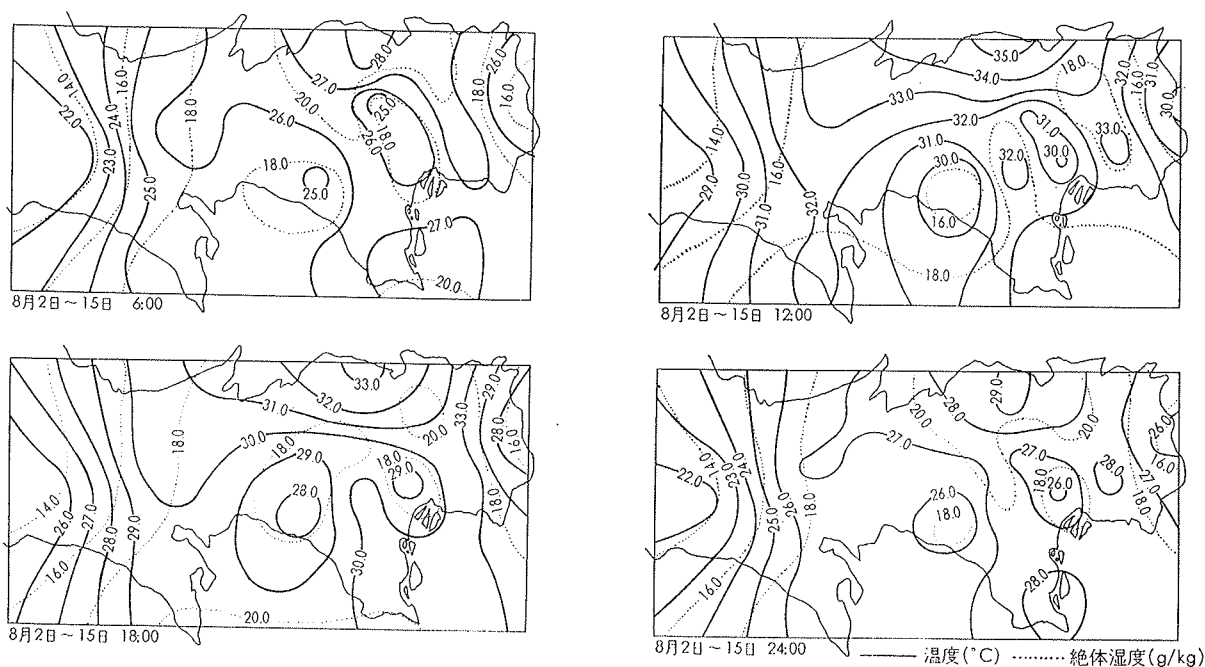


図2-7 夏季における温湿度分布の日変化

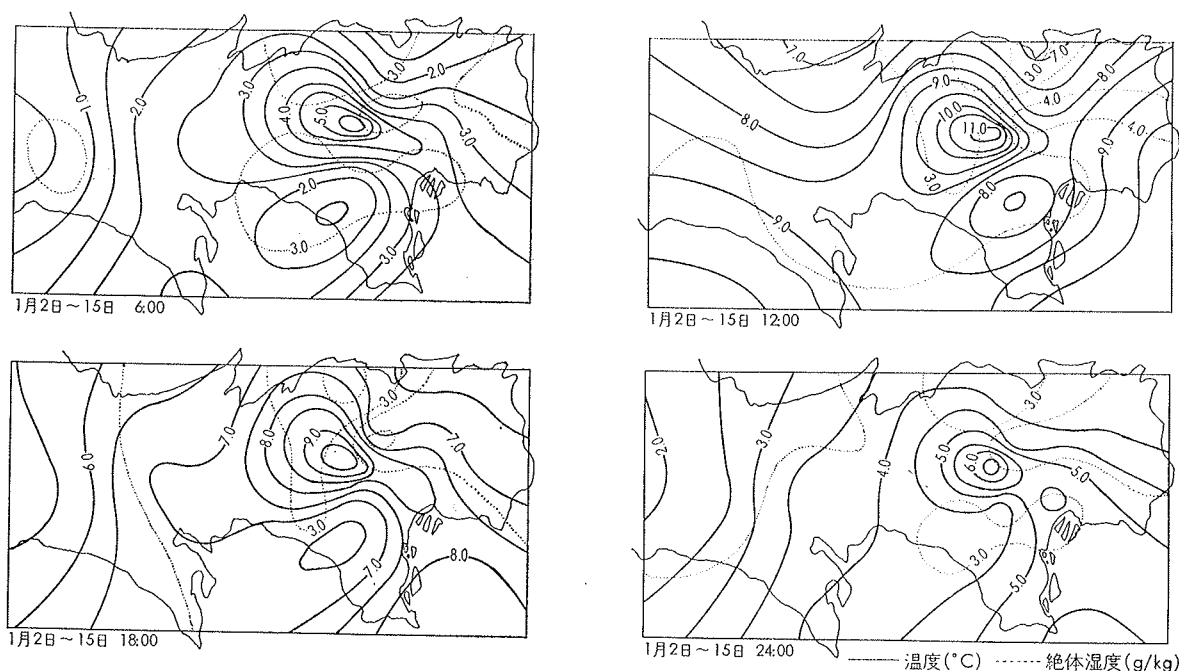


図2-8 冬季における温湿度分布の日変化