

気象データの車室内環境への適用

Converting weather data obtained from the Japan Meteorological Agency into estimates of temperature and humidity in the car in which our product was actually used

磯野 紀夫

Norio Isono

要 旨 高品質なカーオーディオ、カーナビゲーションなどの製品を全世界で販売するためには、製品が使用されている各地域の温度環境、湿度環境を把握して、製品の開発、設計、および信頼性試験などを行う必要がある。

製品の信頼性試験条件の設定、あるいは不具合解析の際に照会する温度・湿度・結露・静電気など、製品が使用されている世界の各地域の気象条件に関わる情報を提供可能にするため、当社独自のデータベースを構築した。それには、各地点名が地図上のどの辺りに位置するのか、その地形が持つ気象上の特徴などの情報も含んでいる。

データベースの構築は、気象庁から入手したデータに基づいて、全世界ベース 1920 地点の最低気温 -2σ 、最高気温 $+2\sigma$ 、平均湿度に変換することで実現した。さらに、このデータベースを用いて、車室内の最低温度想定値および、ある想定による湿度変化の指数を算定し、試験条件設定や故障解析などに適用できる情報へ変換した。

Summary To sell products such as high-quality car audio and car navigations all over the world, we should do development, design, and reliability test of them in consideration of the temperature and the humidity of the various regions in the world where they are used.

Thus we constructed an original data base which includes weather data such as the temperature, the humidity, presence of dew and static electricity in order to supply these data to be useful for setting the condition of the reliability tests of products or analyzing problems reported in products. Moreover it contains the location data on a map where the products are used and the weather data that depends on the geographical features of each region.

The construction of the database was achieved by converting weather data of 1920 regions of the world, obtained from Japan Meteorological Agency, into the lowest temperature -2σ , highest temperature $+2\sigma$, and the average humidity of each location.

In addition, we estimated data such as lowest temperature and the humidity in the car for which our product was actually used using this database. As a result, the estimates were able to be applied to setting the examination conditions of products and the analysis of failures of the products.

キーワード：気象データ，温度，湿度，結露，静電気，測定データ，目標品質

1. まえがき

カーステレオが全世界に普及し、今日では、カーナビゲーションも世界中に販路が広がっている。それら、当社の製品を企画・開発する際にはどのような温度環

境、湿度環境のもとで使用されるのか、さらには路面状況など幅広い使用環境について APQP(Advanced Product Quality Plan) チーム^(註1)で、共通の認識を持つべきと考えている。特に基本的な温湿度環境のデー

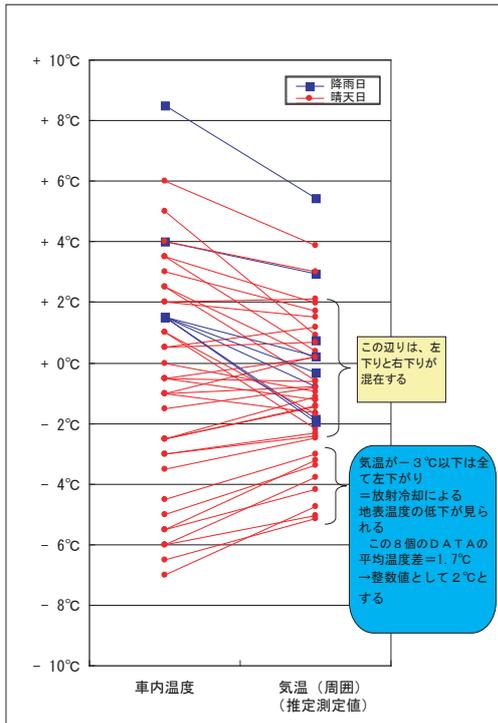


図2 気温 vs 車室内温度 (放射冷却の影響)

3.2 最高気温への変換

日射による温度上昇分については JIS 解説や自動車工業会資料などにもみられるが、ダッシュボードに装着されたディスプレイ表面などの特殊 / 個々のデータは得られない。車室内の日射による温度上昇分は、デー

タベース作成の一環として取組み中であり、現在までのデータでは 40°C 程度と考えられる (図 3)。1 年程度の測定データを気象データと比較分析し、精度を上げてゆく予定である。

4. 今回のデータベースの内容

気象庁の全データの中から以下の選定基準を満たす地点を対象とし、1920 地点を選んだ。

① 人口が 1 万人以上の地点 (南極や最高地点の山頂などは除くことになる)

② 平均気温, 最低気温, 最高気温が示され, 標準偏差値も供される地点

1) 選定した 1920 地点はなじみのない地名も多いため, 場所がイメージしやすいように「アマゾン川中流河畔」「モスクワの東南 200 km」などの表記を, また中国については漢字表記もコメントに記した。さらに, 特徴的な地形については, 同じコメント欄に「砂漠」「盆地」「海岸」「山脈の中腹」などを記した。

2) また, 人口の多寡を記号で表し, その値の重要性を考える一助とした (表 1)。

3) 選定した地点には国防上の理由からか, データが一部しか載っていないこともある。その地点が人口 5 万人以上なら, 同国内の近い 1 ~ 3 地点を選んでそのデータから補間を試み, 斜体文字で表記した。

4) 1920 地点の温度表記は下記とした。

① 考察値 = 過去 30 年分に亘る 1 月 ~ 12 月の各月

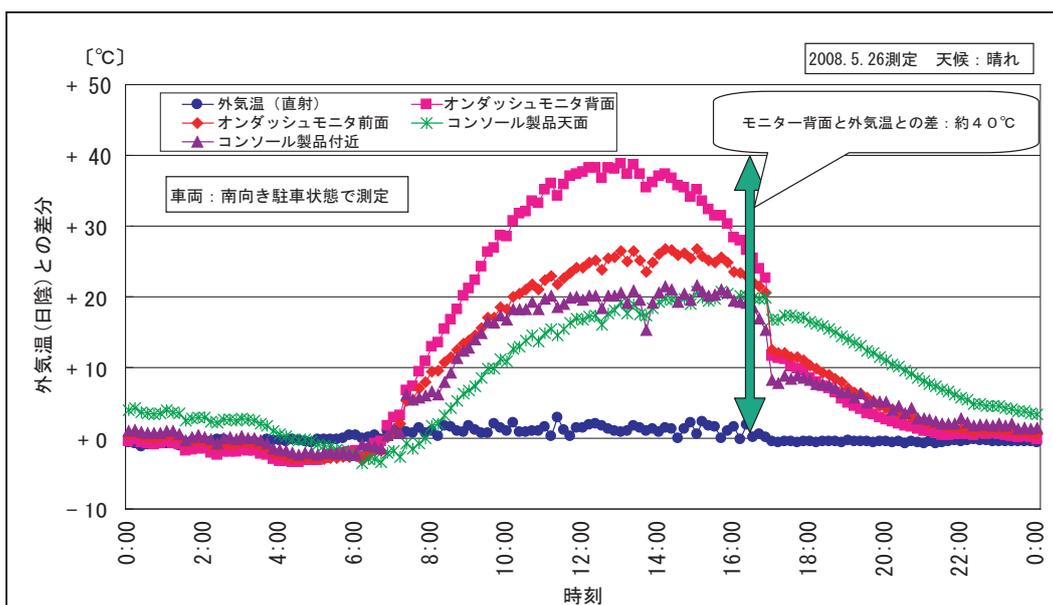


図3 車室内温度上昇測定結果

表 1 最高気温の考察値と車室内の低温想定値

国際地点番号	地点名	国名	人口 ☆ ≥ 100万、 ◎ ≥ 50万、 * ≥ 5万	北緯70以北は極圏とし、無視してよい			《気温》 考察値の 最低 【℃】	A項 車室内の 最低温度 想定値 【℃】	B項 《気温》 考察値の 最高 【℃】	偏差 (単位: 0.1℃)、考察値は標準偏差				年平均 気温 【0.1℃】
				緯度	経度	高度 [m]				1月		2月		
										最低-平均 【0.1℃】	考察値 【℃】	最低-平均 【0.1℃】	考察値 【℃】	
1001	JAN MAYEN	NORWAY	-	7056N	840W	10	-14.4	-18.4	8.3	-24	-14.4	-20	-14.3	-14
1005	ISFJORD RADIO	NORWAY	◎	7804N	1338E	5	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	-52
1008	SVALBARD LUFTHAVN	NORWAY	-	7815N	1528E	29	-28.6	-32.6	9.6	-32	-28.6	-33	-27.7	-65
3960	KILKENNY	IRELAND	-	5240N	716W	63	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	95
3962	SHANNON AIRPORT	IRELAND	◎	5242N	855W	14	-0.1	-0.1	21.7	-20	-0.1	-24	0.1	103
3965	BIRR	IRELAND	-	5305N	753W	70	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	93
3967	CASEMENT AERODROME	IRELAND	◎	5318N	626W	97	-2.5	-4.5	20.3	-20	-1.3	-24	-2.5	90
3969	DUBLIN AIRPORT	IRELAND	◎	5326N	615W	68	-0.5	-0.5	21.9	-22	-0.3	-26	-0.5	97
22550	ARHANGEL'SK	RUSSIA	◎	4030N	4030E	28	-28	-32	24.4	-37	-28	-42	-26.4	8
22602	REBOLY	RUSSIA	*	6349N	3049E	27	-27.1	-31.1	22.8	-34	-27.1	-46	-26	11
22802	SORTOVALA	RUSSIA	*	6343N	3043E	27	-27.1	-31.1	22.3	-34	-27.1	-38	-23.5	27
22820	PETROZAVODSK	RUSSIA	*	6149N	3416E	27	-27	-31	22.2	-33	-27	-32	-23.5	21
22837	VYTEGRA	RUSSIA	-	6101N	3627E	27	-26.6	-30.6	26.5	-36	-26.6	-43	-24.4	26
29838	BARNAUL	RUSSIA	◎	5320N	8342E	26	-26.7	-30.7	28.6	-40	-26.7	-43	-26.5	20
29866	MINUSINSK	RUSSIA	*	5342N	9142E	26	-29.9	-33.9	28.1	-14	-28.6	-44	-29.9	12
30230	KIRENSK	RUSSIA	-	5746N	10807E	26	-43.8	-47.8	26.3	-59	-42.6	-75	-43.8	-42

各月の左側 2 列は気温平年値とその標準偏差 (単位: 0.1℃), 考察値は標準偏差を 2 倍して加え / 減じた値【単位:℃】

平均値から、1月と2月および7月と8月について、最高気温・最低気温の月平均値にそれぞれの標準偏差を2倍して加算/減算する。その結果得た絶対値の大きい方を選択した(北と南半球では最大値を示す月が異なる)。なお、表1 B項が夏季の気温最大値を示す列になっている。

②車室内の最低温度想定値(表1 A項)は、最低気温の考察値(上記)に放射冷却による値を加えたもので、今回は考察値が-20℃を超えた地点については-2℃ではなく、-4℃を加えることとした。これは前記した図2から、「気温が低くなるほど放射冷却現象が顕著にでる」と推定することができたことによる。

5) 気候数値として供される湿度は平均気温での相対湿度である。30℃ 70%, 5℃ 60%などと示されていても設計や品質管理上の実用的な情報ではない。ところが、車室内環境を冷房あるいは暖房で調節すればそのときに起こる湿度変化に注意する必要がある。

4.1 湿度について

次に、湿度について概略を説明する。一般的にいう湿度は相対湿度であり、これは、「その空気に含まれている水分と、その空気を含みうる最大水分の量との比」を示している(% RH)。含みうる最大水分量は「絶対湿度、あるいは飽和水蒸気量」として1立方メートルの中の水の重さ、g/m³で表わしている。絶対湿度は温度が上がるに従い加速度的に大きくなり、+40℃では+20℃の約3倍となっている。

なお、今回の換算では計算式に指定された単位の「飽和水蒸気圧」が出てくるが絶対湿度とはリニアな関係(表2および、図4、図5参照)なので説明は省

表 2 換算表

温度(℃)	飽和水蒸気圧 (hPa)	絶対湿度 (g/m³)
-35	0.31	0.28
-30	0.50	0.45
-25	0.80	0.70
-20	1.25	1.07
-15	1.91	1.60
-10	2.86	2.36
-9	3.09	2.54
-8	3.34	2.74
-7	3.61	2.95
-6	3.90	3.17
-5	4.21	3.41
-4	4.54	3.66
-3	4.90	3.93
-2	5.28	4.22
-1	5.68	4.53
0	6.11	4.85
1	6.57	5.20
2	7.06	5.56
3	7.58	5.95
4	8.14	6.37
5	8.73	6.80
6	9.35	7.27
7	10.02	7.76
8	10.73	8.28
9	11.48	8.83
10	12.28	9.41
11	13.13	10.02
12	14.03	10.67
13	14.98	11.36
14	15.99	12.08
15	17.06	12.84
16	18.19	13.64
17	19.38	14.49
18	20.65	15.38
19	21.98	16.32
20	23.39	17.30
21	24.88	18.34
22	26.45	19.43
23	28.10	20.58
24	29.85	21.78
25	31.69	23.05
26	33.62	24.38
27	35.66	25.77
28	37.81	27.23
29	40.07	28.76
30	42.44	30.36
31	44.94	32.04
32	47.56	33.80
33	50.31	35.64
34	53.21	37.57
35	56.24	39.58
36	59.42	41.69
37	62.76	43.89
38	66.26	46.19
39	69.93	48.59
40	73.77	51.09
41	77.80	53.71
42	82.01	56.44
43	86.42	59.28
44	91.03	62.25
45	95.85	65.34

略する。

変化する湿度が不具合の原因と考えられる事例“カナダでの静電気によるクレーム原因を推定した【フェーン現象による温度と湿度の変化】”を(図6)に示す。

上記は自然現象によることだが、昨今の自動車のようにエアコン装備が一般化し、ある条件でそれが使用されると湿度変化によって不具合のトリガーとなる。

不具合のトリガーは、相対湿度が100%を超えた

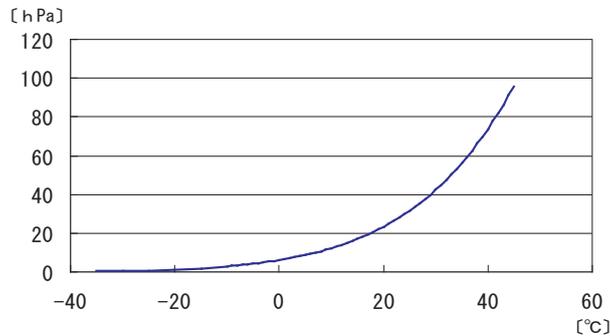


図4 飽和水蒸気圧 vs 温度

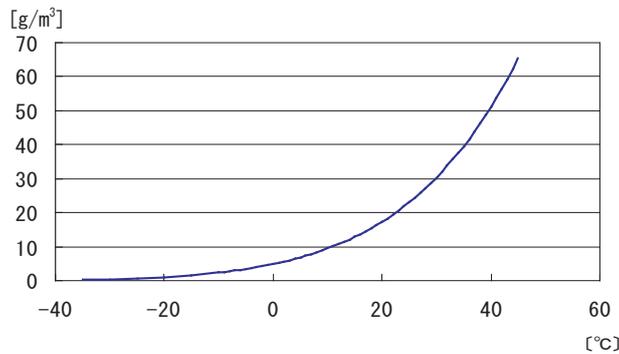


図5 絶対湿度 vs 温度

フェーン現象による温度・湿度の変化

A点で30°C 70%の空気がロッキー山脈を登ると仮定；
 30°C 70%空気の絶対湿度は、 $30\text{g/m}^3 \times 0.7 = 21\text{g/m}^3$ である。
 (30g/m³はグラフから読む・・・ここでは未掲載)

標高が高くなると寒くなる』割合は、大雑把には1000mでマウス6°Cと言われている。
 B点は標高が高いので $[-6^\circ\text{C}/1000\text{m} \times 3700 = -22.2^\circ\text{C}]$ 気温が下り、 $\Rightarrow +7.8^\circ\text{C}$ になる。
 計算上8°Cとして、その温度の絶対湿度は8g/m³(7より)が飽和の100%だから、 $21\text{g/m}^3 - 8\text{g/m}^3$ 分は飽和を超えているので、雨または雪になって空気中から分離される。

飽和の8g/m³が裏側へ到達し、今度は $+6^\circ\text{C}/1000\text{m}$ で山を降ると、3000m分の標高差で $+18^\circ\text{C}$ 上がるよって、エドモントンに到達した空気の温度は $8+18 = 26^\circ\text{C}$ でありながら絶対湿度は【8g/m³】である。

この条件、 26°C で絶対湿度8g/m³を相対湿度に直すと $(24.5\text{g/m}^3(7より)) \times \text{「求める値」} = 8\text{g/m}^3$ で、求める値 = 0.326 \Rightarrow 33%の相対湿度となる。

註：飽和絶対湿度を読んだグラフは、JIS-Z-8806 解説を基に作成した。

図6 カナダでのクレームを原因推測した事例 - 静電気障害の理由 -

ときの「結露」および、低湿度になったときの「静電気」と考え、以下の想定の下で試算した例を示す。

①+ 20℃に暖房したときの【静電気発生の危険】、および、

①+ 20℃に冷房し、②降車・乗車の際に2個以上のドアを開放し、③外気が流入した・・・と想定しての【結露の危険】を算定した。

この危険情報は地点ごとに算定し、指数化(この指数の意味は+20℃でのモデル相対湿度になる)した値を表記するとともに、指数30以下は静電気発生の危険として☆印(表3 A項)を表記した。結露発生の危険は指数100以上であるが、今回は誤差を考慮して指数110以上の地点に●印(表3 B項)を表記した。

この絶対湿度の算定(表3 C項)にあたっては相対湿度から絶対湿度 {g / m³} に換算する、tetensの式と絶対湿度表の近似式を使用した(式1, 式2)。

$$\text{tetensの式: } e = 6.11 \times 10^{7.5t/(t+237.3)} \quad (1)$$

e: 飽和水蒸気圧 (hPa)
t: 気温 (°C)

理論式 / 定義式 / 既知の近似式:

$$D = 7.94 p / (1+0.003661t) \quad (2)$$

D: 絶対湿度 (g / m³)
t: 気温 (°C)
p: 飽和水蒸気圧 (kPa)

(絶対湿度表には整数の温度しかなく、考察値から

導くには近似式が必要なため)

5. まとめ

全1920地点中、人口5万以上の地点番号を横軸に考察値(気温)を縦軸にグラフにすると(図7)となる。なお、地点番号は国際条約で決められ以下のブロック分けになっている。

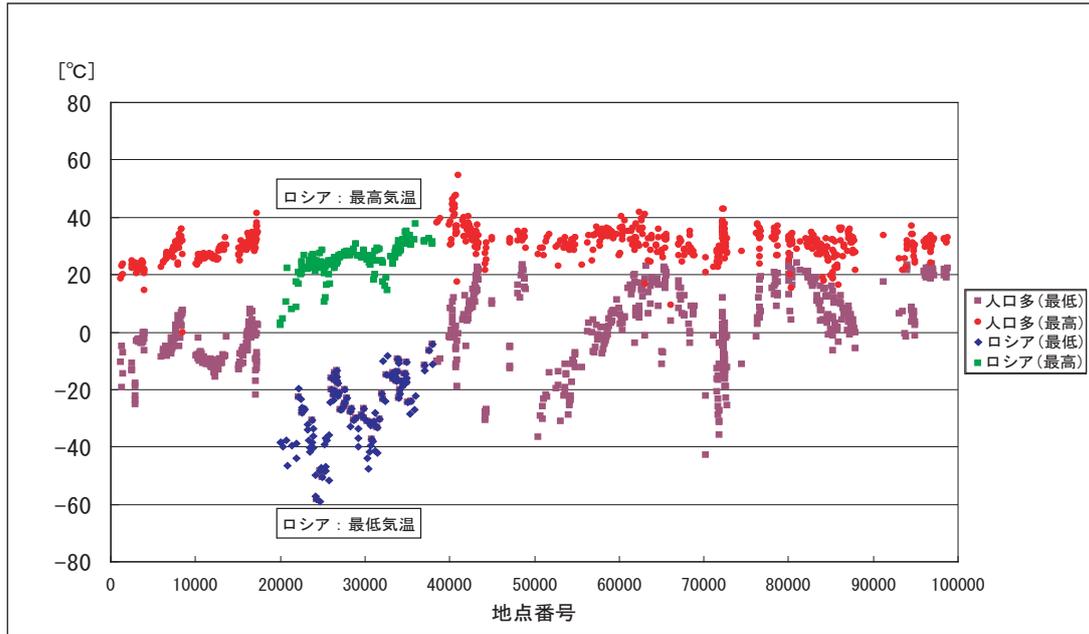
- 1001 から 10000 番台 = 欧州の西側諸国 (ノルウェー～スイス～スペインなど)
- 20000 番台 = 欧州の中央～東側諸国 (ドイツ～イタリア～トルコなど)
- 20000 番台, 30000 番台 = ロシアと旧ソ連諸国 (ウクライナ～トルクメニスタンなど)
- 40000 番台 = 中東, インドから韓国のアジア諸国 (シリア～イラク～タイなど)
- 50000 番台 = 中国
- 60000 番台 = アフリカ諸国 (モロッコ～ケニア～南アフリカなど)
- 70000 番台 = 北アメリカ大陸～中米の諸国 (カナダ～アメリカ～ホンジュラスなど)
- 80000 番台 = 南アメリカ大陸 (コロンビア～アルゼンチン～南極など)
- 90000 番台 = 太平洋上の諸島, オセアニア, 東南アジア (ハワイ島～マレーシアなど)

1) 最低気温はかなり多くの地域が- 20℃を下回る。販売増加の著しいBRICsについて注視・考察すると、

表3 車室内湿度の想定 (結露, 静電気危険度の指数化)

20℃の絶対湿度 (g/m³) : 17.3
静電気危険の閾指数・(%) : 30
結露危険の閾指数・(%) : 110

国際地点番号	地点名	国名	人口 ☆≥100万、◎≥50万、+≥5万	C項				A項		B項			
				湿度の月 年平均値 [%]	気温の 年平均値 [°C]	年平均値を 絶対湿度 換算 [g/m ³]	車内空調し た時の湿度 変化の指数	静電気危険 =☆、 結露危険 =●	湿度の月 年平均値 [%]	気温の 年平均値 [°C]	年平均値を 絶対湿度 換算 [g/m ³]	車内空調し た時の湿度 変化の指数	静電気危険 =☆、 結露危険 =●
1001	JAN MAYEN	NORWAY	-	85	-5.8	2.7	16	☆	92	4.2	5.9	34	
4360	ANGMAGSSALIK	GREENLAND	-	78	-7.4	2.2	13	☆	81	6.4	6	35	
4390	PRINS CHRISTIAN SUND	GREENLAND	-	80	-4.1	2.9	17	☆	79	6.5	5.9	34	
6011	THORSHAVN	FAROE ISLANDS (DENMARK)	-	80	3.3	4.9	28	☆	92	10.3	8.8	51	
6030	ALBORG	DENMARK	*	89	-0.2	4.3	25	☆	73	15.7	9.8	57	
6260	DE BILT	NETHERLANDS	◎	87	2.2	4.9	28	☆	76	16.8	10.9	63	
6447	UCCLE	BELGIUM	☆	87	2.6	5	29	☆	73	17.5	10.9	63	
6610	PAYERNE	SWITZERLAND	*	86	-1.1	3.9	23	☆	72	17.7	10.9	63	
40938	HERAT	AFGHANISTAN	*	67	2.4	3.8	22	☆	32	29.4	9.4	54	
40948	KABUL AIRPORT	AFGHANISTAN	◎	45	-1.8	1.9	11	☆	44	25.1	10.2	59	
40990	KANDAHAR AIRPORT	中央高地	*	58	5.6	4.1	24	☆	25	32.1	8.5	49	
41530	PESHAWAR	PAKISTAN	*	63	11.2	6.4	37		61	32	20.6	119	●
41598	JHELUM	PAKISTAN	-	67	12.5	7.4	43		70	30.4	21.7	125	●
41620	ZHOB	PAKISTAN	-	50	6.2	3.7	21	☆	45	29.5	13.3	77	
41624	DERA ISMAIL KHAN	東部・平地の中心	-	60	12.2	6.5	38		67	32.8	23.6	136	●
41640	LAHORE CITY	PAKISTAN	☆	66	12.8	7.4	43		70	31.5	23	133	●
41660	QUETTA AIRPORT	PAKISTAN	-	64	3.6	4	23	☆	40	27.7	10.7	62	
41675	MULTAN	西部・行へのルート上	*	67	12.9	7.6	44		60	34	22.5	130	●
41712	DAL BANDIN	PAKISTAN	-	43	9.2	3.8	22	☆	21	34.1	7.9	46	
41715	JACOBABAD	PAKISTAN	-	52	15.2	6.8	39		56	34.8	21.9	127	●
41739	PANJGUR	南部・平地の中心	-	19	10.5	1.8	10	☆	46	31.7	15.3	88	
41756	JIWANI	PAKISTAN	-	60	19	9.8	57		75	30.1	22.9	132	●
41765	HYDERABAD	PAKISTAN	◎	51	18	7.8	45		63	32.6	22	127	●



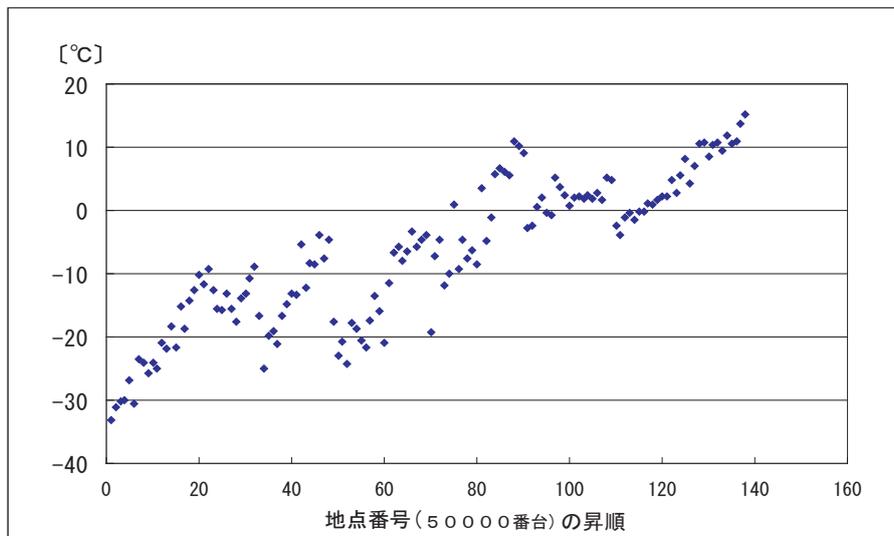
(標準偏差を2倍した考察値)

図7 世界1920地点の内、人口の多い都市の最高気温・最低気温

ロシアでは、人口5万人以上の都市で36地点が示され、チャンピオンはベルホヤンスクの-58.2℃である。-20℃を下回るロシアを人口割りで計算すると43%にもなることが判った。同様な試算で中国の場合は約20%となった。その20%は北東部の3省(遼寧, 吉林, 黒龍江)で8割方を占める。中国にフォーカスしたグ

ラフを作成すると図8となる。

2) 最高気温は全体で見ると、+40℃を超える地点は少ないが大都市ではバグダッドの47.2℃、クエートの46.2℃など中東地域に存在する。中国にフォーカスした高温側のグラフを図9に示す。但しこれらの温度は日陰の気温なので、炎天下の車室内温度は今



(標準偏差を2倍した考察値)

図8 中国国内最低気温(1月)

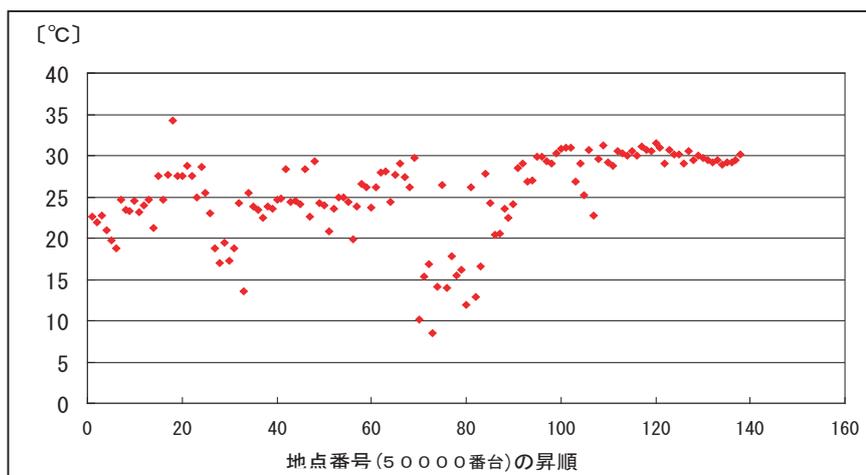
後の測定結果から推定する値が重要である。

3) 湿度 DB から指数化した値のグラフ例 (図 10) からは、低湿での静電気危険地域は北半球のヨーロッパ・ロシア・中国・カナダで認められる。冬に集中する現象で、南半球では7月にアルゼンチンなどで認められる。また、湿度飽和による結露の危険地域は、インド・ミャンマー・タイ・中国およびマイアミ/ニューオーリンズなど南東部のアメリカおよび中米などである。ブラジルが思ったより対象地点は少ない、これは都市が熱帯雨林地帯には少なく、海岸寄りに集中しているためと思われる。

6. 今後に向けて

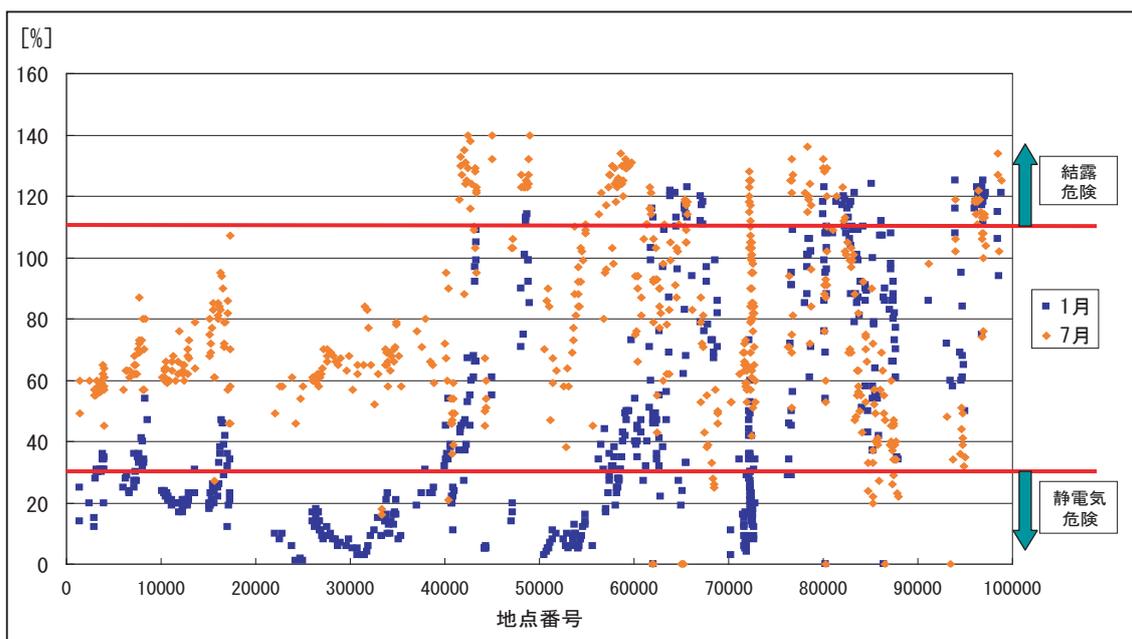
このDB作成と測定で、以下の課題が得られた。

- ① - 20℃を下回る温度に晒されることへの製品再評価と対応策
- ② ダッシュボード上の製品が晒される高温への製品再評価と対応策、さらには、平衡状態のみならず温湿度が変動/変化する中での影響にも目をむけたい。例えばエアコン急冷による製品の表面温度変動、ヒーターによる加湿状態・・・など。
- ③ 車室内温湿度の変化度合いによる製品への影響の定性化・定量化。



(標準偏差を2倍した考察値)

図9 中国国内最高気温 (7月)



(人口の多い都市、1月・7月の考察値)

図10 車室内を +20℃に空調したときの湿度変化の指数

- ④ それらを試験室で再現させる条件設定や規定化など。

これらは課題であると同時にすぐにも製品設計に活かすべきでもある。具体的には、カー商品が企画され製品設計を開始する際の input 要件としての活用、また、量産に入る前の設計検証や信頼性評価条件・要素としての活用ができると考えている。さらには、「変動期のふるまい」の評価は、NTF 解明の一助となると考えている。

7. 謝辞

気象庁のテキストデータからエクセルデータへの変換および、絶対湿度算定の近似式策定については、品質環境企画部 山田裕之氏の協力を頂きました。また、今回の原稿作成に当たり、最新の追加情報提供および図表作成に信頼性技術課の方々に協力を頂きました。併せて感謝します。

註1：APQP とは、「先行製品品質計画」と訳す ISO/TS16949 規格の要求項目で、製品開発にあたって、企画・設計・製造・販売に携わるメンバーが共同で目標品質確保のための検討・討議を行うこと。

筆 者 紹 介

磯野 紀夫 (いその のりお)

MBG 川越事業所 品質技術部製品保証部